TÉCNICA

861

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 169-Dezembro-1946

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada
(REGISTADO)

SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO
Rua de S. Tiago, 13
LISBOA
Telefone 26572

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
169
Dezembro—1946

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 7 0144 (linha 50)

BIBLIOTECA I.S.T.

DIRECTOR
FERNANDO MANZANARES ABECASIS

ADMINISTRADOR
FERNANDO JÁCOME DE CASTRO

BIBLIOTECÁRIO
JOSÉ TELES

SECRETÁRIO
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

REDACTOR
JOSÉ QUINTINO ROGADO

NÚMERO AVULSO 7$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	21$00	40$00	75$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	45$00	80$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Vista aérea do Porto de Ponta Delgada

		Págs.
Influencia Social del Ingeniero	Eng.º José Luis Múzquiz	49
Determinação do teor de estanho no metal	Eng.º A. Herculano de Carvalho	53
Determinação de tensões no betão pelo método do tensómetro fotoelástico	Eng.º António de Sousa Coutinho	59
Cálculo dum silo rectangular de betão armado	Eduardo Cansado de Carvalho	75
Triplicação estática de frequência, obtendo um sistema trifásico simétrico	Armando Pereira dos Reis Miranda	87
Sobre o método de aproximações sucessivas de Hardy Cross	José Quintino Rogado	93
Mundo Técnico		96
Publicações recebidas		98

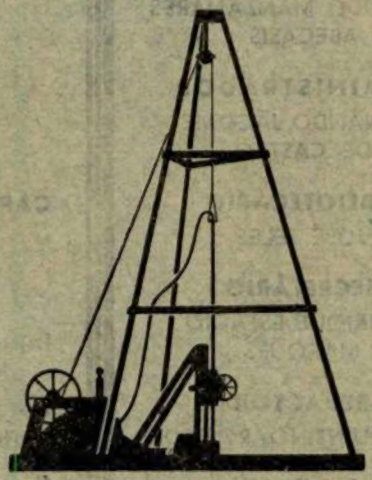
OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas
Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico
Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo
Rebocos comprimidos por «**cement gun**»
Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no país e no estrangeiro



Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º—LISBOA Tel. 2 8685

CARROS INDUSTRIAIS

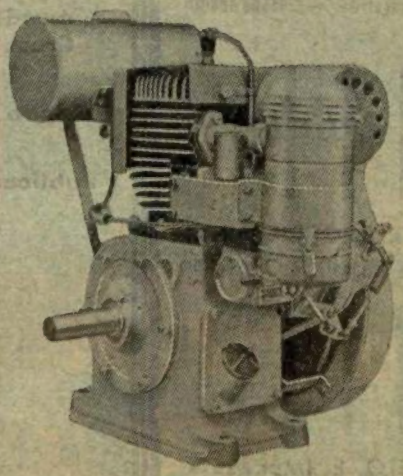
MOTORES MARÍTIMOS — **Douglas** — GRUPOS GERADORES

MOTORES INDUSTRIAIS A GASOLINA E GASOLINA/PETRÓLEO

Série 1 cilindro

B.H.P.	R.P.M.
2 1/2	1800
4 1/2-5	1800
6	1800
7	1800

Em Armazém para entrega imediata

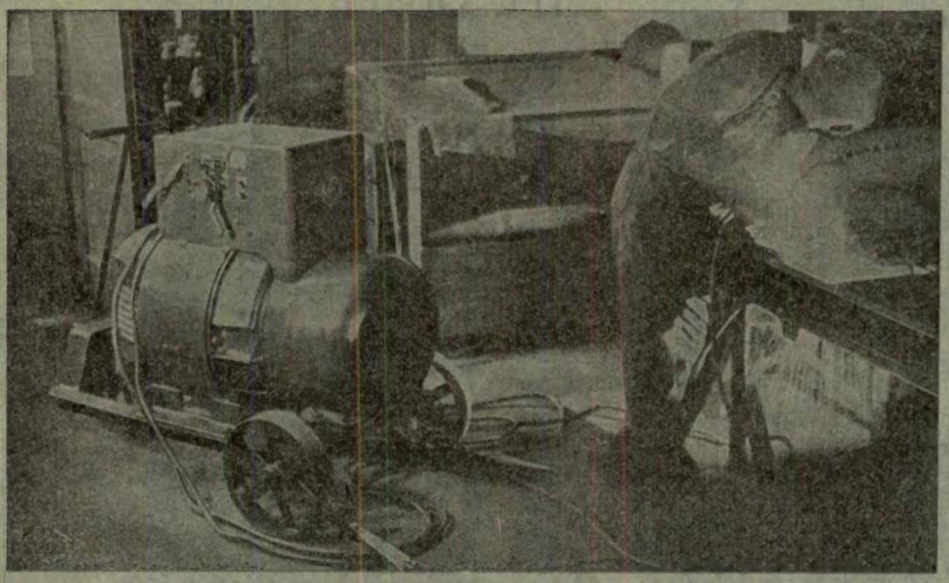


REPRESENTANTES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL

H. M. F. HATHERLY, L.DA—Rua do Comércio, 8—Tel. 22001

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.



Instalação de soldadura eléctrica com grupo rotativo

Motores e dinamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão Centrais termo e hidroeléctricas. Instalações para melhorar o factor potência. Tracção eléctrica. Máquinas, Transformadores e Electrodos para soldadura eléctrica. Fornos eléctricos. Automotoras eléctricas e Diesel-Eléctricas. Turbinas de vapor. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Condutores eléctricos. Electrificação de fábricas. Comandos eléctricos especiais para fábricas têxteis, fábricas de papel, etc. Máquinas frigoríficas. Emissores e receptores para T. S. F. Aparelhagem de Electro-Medicina. Instalações de Som.

THOMSON
GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, L.da

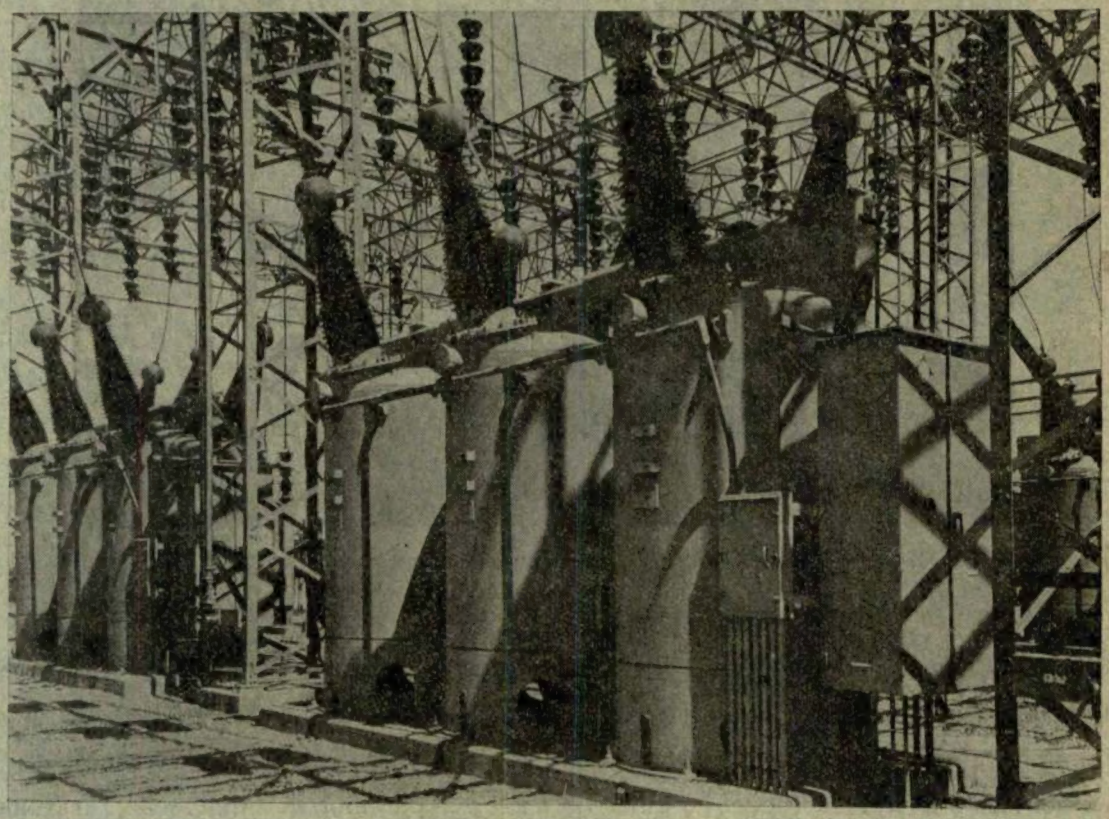
LISBOA
Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136

ALLIS CHALMERS

MANUFACTURING COMPANY

MILWAUKEE



Interruptores em banho de óleo 1200 A, 161.000 V, 2.500.000 kVA

TURBINAS ALTERNADORES

TRANSFORMADORES

RECTIFICADORES DISJUNTORES

CENTRAIS HIDRO-ELÉCTRICAS COMPLETAS

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

EST. HEROLD LDA.

RUA DOS DOURADORES, 7 - LISBOA - TEL. 24221 PABX 5 LINHAS

Fábrica Nacional de Condutores Eléctricos, L.da

VENDA NOVA — AMADORA

•

CONDUTORES ELÉCTRICOS

CEL

Fabricados pela indústria nacional segundo as Normas de segurança das instalações de Baixa Tensão

•

CONCESSIONÁRIOS GERAIS:

SODIL — Sociedade Distribuidora, L.da

R. NOVA DA TRINDADE, 15-C

LISBOA

QUANDO OS FUSOS DÃO 10.000 VOLTAS POR MINUTO

Vemos aqui um fuso de fiação contínua, girando na sua guia. Entre as duas peças, uma tenuíssima película de óleo.

Nada parece mais simples, mas...

O fuso dá 10.000 voltas por minuto, ou mais.

A folga entre fuso e guia é inferior à espessura dum cabelo. A película de óleo interposta deve possuir grande tenacidade e conjugar o máximo poder lubrificante com o mínimo atrito interno.

Atrito significa desperdício de energia que, embora pequeno em cada fuso, representa, numa fiação, um total considerável, quando, no fim do ano, se traduz em escudos.

GARGOYLE VELOCITE OIL DX é o óleo mais económico para fusos, porque às qualidades de lubrificante ideal junta ainda esta: grande facilidade de lavagem das nódoas de óleo nos fios.

2081

GARGOYLE
Lubrificantes
SOCONY-VACUUM

GARGOYLE

SOCONY-VACUUM OIL COMPANY, INC.

TÉCNICA

FERNANDO MANZANARES ABECASIS
DIRECTOR

ANO XXII - N.º 169 DEZEMBRO 1946

INFLUENCIA SOCIAL DEL INGENIERO

PELO ENG.º CIVIL (E. E. I. C. C. P. — MADRID) JOSÉ LUIS MÚZQUIZ

Professor da «Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos»

C. D.

Tem a «Técnica» a honra de inserir colaboração, embora não seja pela primeira vez, do ilustre Eng.º Múzquiz, que amàvelmente se prestou a no-la dar. Bom seria que se intensificasse, por meio da nossa Revista, o intercâmbio cultural e técnico luso-espanhol, com evidente proveito para os engenheiros de ambos os países.

Ao ilustre Autor, os nossos melhores agradecimentos.

Hubo épocas en que los individuos se movían por el sentimiento: el honor, la honra, el ideal. A veces, hasta por sentimientos condenables: la ira, el odio, etc. Pero al fin y al cabo por sentimientos, por valores inmateriales.

Hoy día la honra, el ideal, el honor no suponen demasiado. Si uno de nuestros clásicos exclamó hace tiempo «Poderoso caballero es Don Dinero», porque poderoso era en los tiempos del escritor, hoy bien podemos decir que para muchas gentes no es sólo poderoso, sino omnipotente, señor absoluto.

Ahora bien, el hombre tiene un fin más alto y no ha sido puesto en el mundo para que corriera como un loco tras las riquezas. Se hace preciso, por tanto, reaccionar y poner remedio a este mal, volviendo los ojos a los principios eternos, a los principios de la moral cristiana.

Posibilidades

Esta campaña, como es natural, han de llevarla a cabo todos los hombres de buena voluntad, pero quiero aquí hacer resaltar el papel fundamental que puede desempeñar el ingeniero en esta labor.

1.º — Los obreros y los capitalistas no ejercen funciones antagónicas, ni son enemigos irreconciliables. Así cómo la belleza de un cuadro depende de la variedad y armonía de sus colores y el rendimiento de una máquina del ajuste de sus diferentes piezas, podemos decir que la prosperidad de una empresa depende de la compenetración de los diversos elementos que la integran. A veces — en algunos momentos — pueden ser sus intereses opuestos, pero en realidad se proponen el mismo fin. El Estado, mediante sus leyes, armoniza sus relaciones y evita que el egoísmo de una de las partes destruya la eficacia del conjunto. Pero además de esta labor propiamente estatal, el ingeniero puede desarrollar un trabajo muy eficaz, ya que por ocupar un puesto intermedio entre el capital y el trabajo, participa de la función directiva de aquél y tiene de común con los obreros el ganarse el sustento con el ejercicio de su actividad.

2.º — Para infundir vida y elevación a lo que es puramente material, ha de emplear-se un instrumento que, siendo espiritual, esté en contacto íntimo con la materia.

El ingeniero reune evidentemente estas dos condiciones. Su formación científica, el desarrollo de sus facultades intelectuales y de su ingenio — ingeniero significa precisamente eso- son la parte espiritual. Pero por otro lado el ingeniero está en todo momento en contacto con la realidad material. Desde que comienza su preparación se familiariza con lo concreto, con lo matemático, con lo físico y nadie, por tanto, mejor que el ingeniero para unir estos dos elementos. De aquí la labor tan fructífera que puede desarrollar un ingeniero que haga ver que lo material es necesario, pero que debe ser elevado por el elemento espiritual.

3.º — El ingeniero tiene un influjo directo en la gran masa de obreros que trabajan a sus órdenes.

Es más frecuente de lo que parece el caso de los obreros y empleados que acuden al ingeniero, no solamente para resolver las cuestiones técnicas que se les presentan, sino para buscar orientación y consejo en sus problemas personales y familiares.

Y sería todavía mayor este número si aquéllos vieran en estos no sólo partes integrantes del mecanismo total de la empresa, sino ante todo seres humanos dotados de inteligencia y corazón.

Un ingeniero competente y con prestigio profesional -éste es fundamental para hacer labor- puede ejercer una acción decisiva en todos los que están a su alrededor.

4.º —El ingeniero, además de este influjo directo sobre los obreros, tiene una influencia indirecta sobre toda la sociedad. Está como «luz puesta sobre el candelero» para alumbrar a todos los de casa.

Todas las acciones del ingeniero son apostolado, porque al ingeniero le están mirando siempre mil ojos.

«Verba movent, exempla trahunt». Las palabras mueven, los ejemplos arrastran.

Hacen falta hombres que arrastren con su ejemplo esta sociedad fría y olvidada de

toda espiritualidad. Hombres de ideales, pero no puramente teóricos sino hombres prácticos que estén contínuamente en contacto con la realidad.

Es corriente entre los profesionales que terminan sus estudios que exista una cierta desorientación al enfrentarse por vez primera con la práctica de su carrera. Me contaba hace poco un joven ingeniero, recién salido de una Escuela Especial, que durante los primeros meses que estuvo al servicio de una empresa toda su preocupación consistía en querer aplicar las fórmulas teóricas encajando los problemas prácticos que se le presentaban en los moldes que tenía forjados en su inteligencia, como resultado de su estudio y de su investigación.

Un compañero suyo, curtido por los años de experiencia en su profesión, se burlaba, en cierto modo, de la inexperiencia del novel ingeniero calificándole de «teórico formidable».

Pues bies, esto que suele ocurrir en lo profesional no nos debe suceder en nuestra labor de revalorizar los princípios morales.

No podemos ser «teóricos formidables» que tratemos de forjar un mundo quimérico a nuestro gusto prescindiendo de la realidad. Hemos de aplicar el bien conocido principio teológico de que la gracia no destruye la naturaleza sino que la perfecciona. Y por eso, sin salirnos de lo existente, ni forjar ideales utópicos, hemos de procurar dar una visión superior a todos los problemas del mundo que nos rodea.

Medios que ha de emplear el ingeniero para esta labor.

I — Para esta labor el ingeniero debe en primer lugar cumplir con la más rigurosa exactitud sus deberes de estado. Nunca creeré en la buena fe y en el buen espíritu del que abandona sus obligaciones profesionales bajo pretexto de otras ocupaciones, por muy interesantes y laudables que sean.

Y junto al cumplimiento del deber, el ansia de superación. Es evidente que un hombre con prestígio es mucho más eficaz para arrastrar al bien que una multitud de medíanias. Para que haya fecundidad en la vega tiene que haber nieve en las cumbres.

II — El cumplimiento del deber, el prestigio profesional, son muy importantes. Pero el ingeniero ha de tratar con hombres y por tanto ha de ser ante todo muy humano. Si para la vida espiritual, segun dice un autor moderno, las virtudes sobrenaturales deben tener como fundamento las virtudes naturales a fin de que no falle por su base el edifício, de modo análogo, para que la labor de influencia social sea fecunda se requiere que esté bien cimentada en las virtudes humanas: en la sinceridad, la nobleza, el optimismo, la laboriosidad . . .

De este modo no se necesitarán estridencias para imponerse, ni desgastará la labor de dirección. El mando se ejercerá con una energía suave y eficaz y la influencia sobre los inferiores y sobre toda la sociedad en general será realmente fecunda.

III — Hemos dicho que las virtudes naturales han de ser la base de las sobrenaturales. Pero eso no quiere decir que prescindamos de éstas, sino todo lo contrario Precisamente

ha de ser la caridad la que regule todas nuestras acciones. Una caridad fina y sobrenatural que nos haga ver hermanos en todos nuestros prójimos, no una sensiblería fruto del sentimiento o del histerismo.

En ese gran mecanismo de la sociedad el ingeniero es una pieza importante, una rueda motora. Pero para que pueda ejercer una influencia decisiva sobre los demás, es preciso que no se pierdan energías inútiles en rozamientos. De ahí la gran importancia de la virtud de la caridad que ejerce el papel de bálsamo que suaviza y de lubrificante que aumenta el rendimiento. De este modo, podremos contribuir eficazmente a la elevación del ambiente en esta sociedad tan dominada por el materialismo, tan olvidada de los valores morales.

Determinação do teor de estanho no metal*

PELO ENG.º A. HERCULANO DE CARVALHO

Professor do I. S. T.

COM A COLABORAÇÃO DE JOÃO DUARTE DE ALMEIDA

C. D. 543.7:546.811

Durante a última guerra a exportação do nosso estanho atingiu grande desenvolvimento; as circunstâncias do momento exigiam dos laboratórios de análise um enorme esforço pois era preciso fazer análises não só com rigor suficiente mas... muito depressa.

A base de quase todas as transacções era ùnicamente o teor de Sn, pondo-se portanto o problema de seleccionar um método rápido de determinação desse teor.

O problema não pareceu difícil de solucionar e quase todos os laboratórios o resolveram adoptando o método volumétrico de oxidação de Sn^{++} com soluto aferido de $1\frac{-}{3}$. O método, já usado correntemente para a cassiterite, é sobejamente conhecido para ser aqui descrito. Tratava-se apenas de o adaptar, averiguando em que condições deveria ser praticado para que o erro relativo máximo não excedesse o valor admissível. Mas também este ponto se resolveu (pelo menos nos laboratórios que mais se ocuparam do assunto) e não se andará muito fora da verdade dizendo que, nas condições normais de execução, esse erro não ultrapassava 0,3 %.

É sabido que as dificuldades de dosagem suficientemente precisa duma substância, *directamente*, crescem, a partir de certo momento, com a percentagem dessa substância no produto a analisar; assim, no estanho e no chumbo puros do comércio, os elementos respectivos só podem determinar-se com rigor doseando as impurezas (no caso do estanho: Sb, Pb, As e Cu, principalmente) e avaliando-os por diferença; desta forma e partindo de toma suficiente (para o chumbo: 50-200g, 20-50 para o estanho), com ensaio em branco paralelo, consegue-se um erro mínimo, da ordem da segunda casa decimal.

Mas para o nosso caso o caminho é moroso e também não era exigida senão a primeira casa decimal.

Isto justifica a adopção do método volumétrico; o que é necessário ainda é estudar minuciosamente as condições em que deve praticar-se de modo a obter dele o máximo rigor compatível com a sua natureza.

Nos métodos volumétricos de «rotina» com bom material graduado e aferição corrente dos solutos titulados, podemos ter um erro inerente ao método em si de 4-5 por mil; em muitos casos o erro relativo máximo total alcançará 1 % e mais. Tal erro não terá importância prática, por exemplo, na dosagem do estanho nas ligas antifricção, pobres desse metal: o desvio *absoluto* atingido será mesmo inferior aos erros introduzidos pela heterogeneidade que vulgarmente apresentam essas ligas. Mas para teor de estanho próximo de 100 %, um erro relativo de 4-5 por mil é demasiado, porque para esses altos teores o erro absoluto tem pràticamente o valor do relativo. Mesmo

* Adaptação duma nota apresentada à Academia das Ciências de Lisboa, em 9-4-946.

dadas as circunstâncias em que se tinham de fazer as transacções do estanho, aquele afastamento não era admissível.

Com as precauções que se adoptaram e determinações em duplicado melhorou-se, como já disse, para 3 ou mesmo 2 por mil.

Note-se a importância que tem nesta «região» o ganho de 1 por mil!

No entanto o método, se bem que satisfatório, tem várias causas de erros acidentais que podem ampliar o erro absoluto, mesmo trabalhando em duplicado ou triplicado.

Foi precisamente a observação de certos desvios inesperados, abalando de vez em quando a confiança do analista apesar de longa prática corespondente à realização de mais dum milhar de determinações, que nos levou recentemente a examinar de novo a questão com esperança de suprimir algumas daquelas causas e de melhorar o método sobre outros aspectos.

a) *Amostragem* — O analista não tem responsabilidade na qualidade da amostra que lhe remetem; mas para os interessados na compra ou venda a questão é *fundamental*, devendo afirmar-se que as discrepâncias entre resultados analíticos de diversos laboratórios são em muitos casos provenientes de amostras heterogéneas, mal tiradas.

Em regra o laboratório recebe um frasco com aparas de estanho cuja quantidade é muito variável. Sente-se a necessidade de definir rigorosamente e uniformizar os métodos da amostragem externa. Em qualquer caso seria preferível mandar aos laboratórios pequeno lingote (ou barrinha) resultante da fusão e mistura das aparas tiradas dos lingotes grandes.

Mesmo que o laboratório esteja disposto a fazer esta operação sobre a amostra que recebeu, não há a certeza de que ela é perfeitamente igual à que ficou de reserva ou foi entregue ao outro interessado.

Faltam portanto regras oficiais de amostragem.

É frequente, ainda, o frasco vir interiormente molhado e as aparas trazerem também uma camada de óleo; daqui a conveniência de preceder a pesagem dum tratamento com álcool e éter, secando depois na estufa.

b) *Dissolução da amostra* — Pesando uma toma de 5 g ou maior, com sensibilidade de $\pm$ 0,2 mg (balança analítica) nenhum erro sensível se introduz na operação.

O ataque pelo ácido clorídrico concentrado (50-100 ml) é sensìvelmente acelerado pela junção de 2-4 gotas de solução $Cl_2Ni.6Aq$ a 10 %.

c) O volume a perfazer e as tomas, em duplicado, são feitas de harmonia com o título da solução oxidante e o volume total que se acha conveniente ter no momento da titulação. Supomos como base 5 g de toma levados a 1000 ml e tomas de 50 ml (0,250 g do metal).

Vem a propósito frisar que os balões graduados, pipetas e buretas usados devem ser prèviamente aferidos de modo a não provocarem erros superiores a 0,1-0,2 por mil. É preferível usar material já aferido oficialmente nos institutos competentes dos países de origem e à temperatura de 20° (*). Se a temperatura ambiente se afasta sensìvelmente deste nível, convém averiguar qual a grandeza do erro introduzido e corrigi-lo ou, melhor, evitá-lo, restabelecendo a temperatura conveniente. Tudo isto são cuidados bem conhecidos mas que devem ser especialmente lembrados no nosso caso em que se deseja uma precisão ótima.

d) *Redução e titulação* — É nesta última operação que introduzimos modificações apreciáveis ao método habitual.

No método iodimétrico as principais causas de erros acidentais inerentes ao oxidante provêm da instabilidade das soluções do ião I_3^-, que têm tendência a aumentar o título (oxidação de I^- que existe em excesso) e portanto a dar resultados baixos, e ainda na aptidão do mesmo ião, quando é reduzido, a induzir a oxidação de Sn^{++} pelo oxigénio, que sempre existe em mínima quantidade que mais não seja na própria solução titulante [1]; esta indução depende [3]

(*) Convém, uma vez a solução homogeneizada, passá-la para um frasco ou balão vulgar, e lavar bem o balão graduado antes de guardá-lo.

da concentração de Sn^{++} e do pH, não sendo de aconselhar que se exceda muito a normalidade em ClH.

A outra causa de erros graves é independente da natureza do oxidante: trata-se de deficiência da protecção da solução de Sn^{++} contra o oxigénio do ar. Mas a este respeito nota-se que qualquer dos métodos aconselhados usualmente (corrente de CO_2 purificado ou vedação garantida por solução de bicarbonato) é perfeitamente eficaz quando bem praticado. Apenas há que chamar a atenção do analista para este ponto que é, aliás, de *capital importância.*

Nota-se ainda como desvantagem secundária, mas não desprezível quando há grande número de ensaios a fazer, que o iodo bi-sublimado não se encontra hoje com muita facilidade no mercado; que são necessários cerca de 11 g dessa substância para 1 litro da solução usualmente empregada e mais 15-20 g de iodeto de potássio que, como o iodo, tem preço muito elevado.

Por estas razões, já em tempo tentáramos a substituição do iodo pelo cloreto férrico, usando o método de Viktor ([2]) correntemente praticado, à data, pelo Prof. Lepierre, no laboratório do IPCP.

Mas para o nosso caso não lhe encontrámos vantagens nítidas, pois que ele exige indicador especial complexo, que também fica dispendioso pela quantidade gasta em cada titulação. Experimentámos substituir este indicador por um indicador orgânico de «redox» com potencial de viragem baixo, como convinha.

Com efeito o potencial normal de oxidação-redução do sistema:

$$Sn^{++} \longrightarrow Sn^{++++} + 2\,e$$

tem apenas o valor: $E_0 = 0{,}14$ volts. (*) De vários que ensaiámos, escolhemos o carmim de anil; mas, mesmo com este, para conseguir viragem suficientemente diligente e nítida no ponto de equivalência era necessário elevar muito a acidez (4-6 N em ClH), o que trazia consigo sérias desvantagens.

Com indicadores específicos, como o SCN^-, nada conseguimos também e o processo de «toque» (indicador externo) era no caso inaplicável. Relegámos para mais tarde experiências mais desenvolvidas que nos permitissem empregar de maneira prática a solução de Cl_3Fe, pois nos continua a parecer este o oxidante mais adequado, mas não houve oportunidade de fazê-las.

Recentemente, referência apanhada num livro de Análise chamou-nos a atenção para um trabalho ([3]) onde se propõe, para substituir o iodo na dosagem do estanho, o iodato de potássio.

Fácil nos foi, com base na prática que tínhamos, delinear uma técnica que possue a vantagem de maior rapidez, conservando as condições que os autores desse trabalho apontam como indispensáveis para a necessária precisão.

O iodato (IO_3K) dá soluções perfeitamente estáveis a longo prazo e, como se conclue do estudo experimental de Ramsay e Blann, não tem a aptidão do iodo para induzir a oxidação pelo O_2.

Além disso notamos nós que, sendo o preço do iodato menor que o do iodo e dispensando a respectiva solução a presença de iodeto, o emprego de IO_3K embaratece muito o método, visto que a concentração necessária é só de 3,005 g/l.

Pode à primeira vista parecer que, sob o ponto de vista da grandeza do erro relativo, esta menor concentração constitua desvantagem; a sua influência é porém desprezível: na balança analítica, um erro mesmo de 0,5 mg corresponderá (fazendo de cada vez 1 l de soluto, como é hábito) a menos de 0,2 por mil.

Ao contrário do bromato, que em solução suficientemente ácida se comporta em presença de redutores diversos sempre da mesma maneira, na titulação directa com o iodato não se obtém, senão por excepção, resultados estequiométricamente de harmonia com a equação simples:

$$IO_3^- + 6H^+ + 6\,e \longrightarrow I^- + 3\,OH_2 \quad (I)$$

Com efeito e consoante o redutor e condições do meio, podem resultar da redução: I^-, I_2, I^+ e até IO^-.

* Certos autores indicam o valor 0,20 V.

Vários métodos são hoje aconselhados para utilizar a reacção global:

$$IO_3^- + 6\,H^+ + 4\,e \longrightarrow I^+ + 3\,OH_2 \quad (II)\,,$$

trabalhando em determinadas condições de acidez e aproveitando a formação de compostos do ião I^+ : ClI^- (Andrews), ICN (R. Lang) e C_3H_5OI (Berg) (4).

Dá-se porém a circunstância da titulação de Sn^{++} constituir precisamente excepção ao comportamento complexo do iodato, de forma que a reacção-base do método é realmente:

$$3\,Sn^{++} + IO_3^- + 6\,H^+ \longrightarrow 3\,Sn^{++++} + I^- + 3\,OH_2 \quad (III)$$

No ponto de equivalência, não havendo mais Sn^{++}, um ligeiro excesso de iodato (basta uma gota da solução que usamos) vai reagir com I^- prèviamente formado (III), libertando iodo que cora de azul o cozimento de amido:

$$IO_3^- + 5\,I^- + 6\,H^+ \longrightarrow 3\,I_2 + 6\,OH_2 \quad (IV)$$

Os AA. (3) aconselham que se ultrapasse, com pequeno excesso de iodato, o ponto de equivalência e se volte atrás, até descoloração do amido, com tiossulfato titulado.

Temos encontrado valores exactos e concordantes com a titulação directa mas pode haver vantagem em lançar mão do método «por diferença» sempre que se ultrapasse o ponto de equivalência.

O estudo teórico da titulação de Sn^{++} pelo I_3^- ou por IO_3^- não conduz provàvelmente a resultados de confiança. Neste último caso a reacção global não poderá certamente considerar-se como processo reversível. Por outro lado, em qualquer desses casos, o ião que verdadeiramente existe em solução é um ião complexo em que entra o cloro, com a sua constante própria de dissociação, a qual tem de considerar-se no estudo do equilíbrio. Com algumas hipóteses simplificativas (por ex., no caso do iodato, constância da actividade do ião hidrogénio e, nos dois casos, supor iguais à unidade os coeficientes de actividade), podem estabelecer-se os valores dos potenciais de «equivalência» duma ordem de grandeza aceitável.

Partindo dos valores:

$$\left.\begin{array}{l} E^\circ_{Sn^{++} \rightarrow Sn^{++++}} = 0{,}14 \\ E^\circ_{I_3^- \rightarrow 3\,I^-} = 0{,}54 \\ E^\circ_{IO_3^- \rightarrow I^-} = 1{,}09 \end{array}\right\} \text{Volts}$$

que se encontram nas tabelas, e supondo as concentrações correspondentes à técnica que adiante se transcreve encontramos:

Condições de equilíbrio:

Oxidante

$$\frac{I_3^-}{\dfrac{[I^-]^2 \cdot [Sn^{4+}]}{[I_2]\,[Sn^{2+}]} = 10^{13{,}3}} \qquad \frac{IO_3^-}{\dfrac{[I^-]\,[Sn^{4+}]^3}{[IO_3^-]\,[Sn^{2+}]^3} = 10^{95}}$$

Potenciais de equivalência: 0,364 V, 0,853 V

Concentrações de Sn^{++} na equivalência:

$2{,}8 \cdot 10^{-9}$ $\quad 1{,}12 \cdot 10^{-26}$ moles/litro.

A fórmula electrónica do estanho é $2 + 8 + 18 + 18 + 4 = 50$; o seu grau máximo de oxidação corresponde à perda dos 4 electrões do nível mais alto, ficando os outros níveis *completos*. Isto explica a facilidade de oxidação de Sn^{++}.

Descrição do processo adoptado

I — Reagentes — *a*) Solução de IO_3K. Secar o sal p. a. na estufa, a 180°, e pesar 3,0050 g, dissolver e perfazer 1 litro. Aferir com soluto padrão de estanho, como adiante se diz. Se o iodato é suficientemente puro, 1 ml da solução equivale a 5 mg de Sn.

b) Solução de $S_2O_3Na_2 \cdot 5\,Aq$, de título tal que 1 ml → 0,50 ml do soluto a).

Prepara-se a partir da solução 0,1 N, aferida segundo as indicações de Bray e Miller (6) ou com a própria solução a) adi-

cionada de IK, em diluição conveniente e moderada acidez.

c) Solução de Cl_2 Ni.6 Aq, aprox. a 10 %.

d) Cozimento de amido *recente* — Pesar 0,2 g de amido solúvel, diluí-lo num pouco de água, fazer cerca de 100 ml e ferver algum tempo. Deixar arrefecer, repousar e filtrar (5).

e) Solução de bicarbonato de sódio, a 2 %, (eliminar O_2 dissolvido, fervendo 15-20 minutos e deixar arrefecer em corrente de CO_2).

f) Fio de alumínio cortado em pedaços de cerca de 1 cm.

II — Prática — Pesar 5,0000 g da amostra de estanho, preparada como se disse, para balão de Erlenmeyer de 250 ml; juntar 50 ml de ácido clorídrico concentrado puro e 2 gotas de c). Aquecer em banho de areia até cessação do ataque. (Fica muitas vezes um resíduo preto, pulverulento, de Sb).

Passar para balão graduado de 1 litro e perfazer este volume.

Fazer duas tomas de 50 ml em balões de 0,5 ou de *1* l, juntar mais 40 ml de ácido e 100 ml de água distilada.

Aquecer à fervura; retirar da chama e deixar arrefecer 1/2 minuto. Juntar então 0,5 ml de c) e 1,0-1,5 g de fio de alumínio. ***Antes desta junção e até ao fim da titulação deve proteger-se constantemente o líquido da acção do oxigénio do ar,*** passando corrente de CO_2 puro ou protegendo com solução de bicarbonato e juntando fragmento de mármore (*), segundo as técnicas conhecidas.

Uma vez a reacção violenta acalmada, levar-se-á novamente à chama, aquecendo e agitando até dissolução total. (Quando da adição do alumínio é necessário conseguir que todos os fragmentos caiam no líquido e não fiquem aderentes às paredes do balão).

Arrefecer à temperatura do ambiente, juntar 100 ml de e) e titular com iodato, juntando quase no fim 10 ml de d) e continuar gota a gota até cor azul. Se o ponto de equivalência for ultrapassado em duas ou três gotas, voltar atrás com solução b) até descoloração.

Cálculo — Na *titulação directa,* gastando n ml de a) teremos: $Sn\,\% = 2 . n$

No *processo por diferença,* gastando n de a) e n' de b

$$Sn\,\% = 2n - n'$$

III — Aferição da solução de iodato — Partir de estanho de teor conhecido, pesar 5,0000 g e proceder como acima se disse. As amostras de estanho p. a. vêm quase sempre um pouco alteradas superficialmente. Por isso devem lavar-se antes da pesagem com ácido clorídrico 1:1, a frio, e depois com água, álcool e éter, secando depois na estufa a baixa temperatura.

Tirar a média de 3 ou 4 ensaios.

Interferências — Das impurezas comuns do estanho metálico, o arsénio e o antimónio, dado o baixo teor do primeiro no nosso estanho e a técnica seguida, não interferem sensìvelmente. Com pequena modificação desta técnica, pode também eliminar-se o cobre que, em muitas amostras, existe aliás em quantidade mínima. Mesmo sem essa modificação não temos notado interferência do cobre, na titulação com iodato, mesmo para teor de 1 % de Cu no estanho; em contrapartida, a titulação com iodo parece ser afectada, possìvelmente devido à reacção:

$$2I^- + Cu^{++} \longrightarrow ICu + 1/2\,I_2$$

Mas a questão ainda está em estudo.

A presença do chumbo não perturba a dosagem.

Conclusão — O método exposto, que só tem originalidade na articulação do conjunto e num ou noutro pormenor, parece oferecer melhores condições de exactidão e reprodutibilidade que o habitual.

É talvez possível, com ele, atingir a precisão de ± 1,5 por mil, o que representa avanço útil para o fim em vista. É também sensìvelmente mais económico.

Entre os métodos *volumétricos* de determinação do teor de Sn no metal, parece pois

(*) Preferindo este processo, a adição de ClH à toma deverá ser de 45 ml e não de 40.

reunir as condições de se considerar padrão.

Mas para isso é preciso que outros o pratiquem e se pronunciem nesse sentido. A determinação completa pode fazer-se em menos de 3 horas.

REFERÊNCIAS:

(1) V. por exemplo, Kolthoff e Sandell-Textbook of Quantitative Analysis, N. Y. 1936, pág. 476 e as referências do artigo citado em (3).

(2) Berl-Lunge-Ch-Techn. Untersuchungen Methoden, vol. II-2 (8.ª Ed.) pág. 1584 ss. — Berlim — 1932.

(3) The Volumetric Determination of Tin; Use of Potassium Iodate. — J. B. Ramsay e J. G. Blann — J. A. C. S. 56, 815 (1934).

(4) Die Chemische Analyse — Vol. XXXIII, artigo de R. Lang, pág. 44 ss. Estugarda — 1935.

(5) V. a este respeito os conselhos de Fales: Inorganic Quantitative Analysis, N. Y. 1925 — págs. 300-301.

(6) J. A. C. S. 46 — 2209 (1924).

"NEYRPIC"

ATELIERS NEYRET-BEYLIER & PICCARD-PICTET

GRENOBLE

EQUIPAMENTOS DE QUEDAS DE ÁGUA

EQUIPAMENTOS DAS GRANDES BARRAGENS

LABORATÓRIO DE ENSAIOS HIDRÁULICOS

HIDRÁULICA AGRÍCOLA — REGA

Descarga de fundo da Barragem de Santa Luzia da Companhia Eléctrica das Beiras
Uma válvula — Borboleta de segurança de 2 metros de diâmetro
Uma válvula — Borboleta de descarga estanque de 1m,80 de diâmetro

SOCIEDADE PORTUGUESA

NEYRET-BEYLIER & PICCARD-PICTET, L.DA

Avenida Duque de Loulé, 95 LISBOA Telefone 4 6889

FÁBRICA PORTUGAL

PRAÇA DOS RESTAURADORES, 49-57 - TEL. 24948

INSTITUTO PARA A ALTA CULTURA
CENTRO DE ESTUDOS DE ENGENHARIA CIVIL
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO · LISBOA
PUBLICAÇÃO N.º 5

Determinação de tensões no betão pelo método do tensómetro fotoelástico

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) ANTÓNIO DE SOUSA COUTINHO
Assistente do I. S. T.
Bolseiro do I. A. C.

C. D. 624.04.012.4

PLANO

1.ª Parte — Estudo do método

Introdução
Capítulo I — A determinação duma tensão principal única na superfície dum sólido
Capítulo II — A determinação das duas tensões principais na superfície dum sólido
Capítulo III — As tensões iniciais no espelho provocadas pela contracção do betão
Capítulo IV — A independência entre a tensão no espelho e a deformação do betão

2.ª Parte — Aplicações

Capítulo I — Estudo dalgumas propriedades do betão e do betão armado
Capítulo II — Determinação das tensões nas construções

Conclusões

1.ª PARTE — ESTUDO DO MÉTODO

Introdução

1. A necessidade do ensaio e observação das construções. — O estudo experimental das construções é hoje considerado um dos problemas fundamentais da investigação na engenharia civil. Normalmente, a finalidade de tal ensaio consiste não só em saber até que ponto as hipóteses postas nos projectos são verificadas, mas também na determinação das condições de segurança das estruturas.

Todo o programa de observações a efectuar sobre as construções consta da determinação dos deslocamentos e das tensões nos seus diversos pontos.

Correntemente, os resultados destas observações mostram que, quer os deslocamentos quer as tensões medidas, se afastam muito dos valores previstos pelo cálculo.

Diversas são as causas deste facto: a existência de irregularidades de contracção (no caso de obras feitas com cimento), de cedências de determinadas zonas (cedências de

apoios, por exemplo), de variações e distribuições irregulares de temperatura, que, não tendo sido conveniente previstas no projecto, veem alterar profundamente o valor e a distribuição das tensões e deslocamentos dos diferentes pontos da estrutura.

Por outro lado, as hipóteses simplificadoras da forma dos sólidos, feitas em virtude dos cálculos, concorrem também para que não haja concordância entre os resultados experimentais e os resultados analíticos.

O grande desenvolvimento que nas últimas décadas têm tido os métodos e aparelhagem de observação das construções veio revelar a deficiência actual dos métodos de cálculo. Este resultado é particularmente importante no caso das obras de betão e betão armado, pois a alta hiperestaticidade imposta por este material não se concilia com a simplificação que é necessário usar nos métodos analíticos.

Nesta publicação apenas será descrito um método de determinação de tensões nas construções de betão e betão armado [1].

2. A necessidade do estudo das propriedades do betão e do betão armado. — Dada a importância do betão armado como material de construção, impõe-se o conhecimento detalhado das suas propriedades.

Um dos problemas mais complexos nas aplicações do betão armado é, sem dúvida, o da acção das suas armaduras. Apesar de todo o trabalho até hoje realizado, ainda é muito obscura uma tal acção.

Por outro lado, a existência de certas propriedades do betão, como o são por exemplo a contracção, a plasticidade, a não homogeneidade do material, etc., tornam muito complexo o seu comportamento e exigem o conhecimento perfeito da repercussão destes fenómenos nas construções. De facto, daqui resultam tensões difíceis de prever, o que tem feito sentir necessidade de estabelecer métodos experimentais que permitam medir as tensões resultantes de todos os efeitos mencionados.

Poucos são hoje os métodos especialmente adequados a este fim.

Os métodos até hoje correntemente adoptados para a determinação de tensões são mecânicos, eléctricos e acústicos, com todos os seus inconvenientes. Dentre estes, os mais importantes são, para os métodos mecânicos, a extrema sensibilidade às perturbações exteriores, como variações de temperatura, vento, choques e vibrações, o que obriga a fazer observações apenas em pequenos intervalos de tempo. Nos métodos que utilizam aparelhos eléctricos, a possibilidade de desregulação, fragilidade, delicadeza, dificuldade de montagem perfeita e existência de parasitas, pode tornar precária e confusa a interpretação dos resultados.

De todos os métodos correntes de medição de deformações no betão armado o mais próprio e o mais vantajoso é, talvez, o das cordas vibrantes. Contudo, certas propriedades notáveis do método que a seguir vai ser exposto conferem-lhe a possibilidade de dar valiosa contribuição para a solução eficaz dos problemas atrás mencionados.

CAPITULO I

A determinação duma tensão principal única na superfície dum sólido

3. O método do tensómetro fotoelástico. — Foi Georges Mabboux [1] quem, em 1935, sugeriu pela primeira vez um método óptico de medição de tensões nas construções de betão e betão armado, método que teria a enorme vantagem de poder determinar o estado da construção em qualquer época.

Neste método são colocados discos de vidro espelhado na superfície da peça de betão, durante a sua betonagem. Após a presa do cimento, as deformações do betão devidas a quaisquer forças que sobre ele actuem, transmitem-se ao vidro, o qual apresentará o efeito fotoelástico e assim revelará, através da quantidade de birefrin-

[1] Numa próxima publicação será tratada especialmente a questão das medições dos deslocamentos pelos métodos e aparelhagem das observações geodésicas.

[1] H. Souillot, «La photoelasticimetrie méthode G. Mabboux dans l'étude des deformations des ouvrages en béton armé», *Travaux*, Maio de 1935.

gência, a tensão a que está submetido. Conhecida a relação entre esta tensão e a que existiria no betão se lá não estivesse colocado o espelho, será possível determinar a tensão actuante no ponto onde está colocado esse espelho.

O método não teve, que se saiba, o sucesso que seria de esperar. De facto, imensas dificuldades existiam para o seu êxito completo, das quais as mais importantes são a falta de constância da relação entre a tensão existente no vidro e a tensão actuante no betão, e a existência, no espelho, de tensões chamadas iniciais, provenientes do obstáculo imposto por ele à contracção do betão, tensões que, sendo extremamente importantes, vão alterar profundamente o campo de tensões provocadas pelas forças exteriores actuantes sobre a estrutura.

O A. crê ter resolvido estas duas questões essenciais [1], como a seguir vai ser exposto.

4. Descrição sumária do aparelho utilizado (Tensómetro fotoelástico do tipo I). — Para se determinar a tensão no espelho, numa dada época, há necessidade de medir o seu efeito fotoelástico [2], para o que se usa um aparelho apropriado — «tensómetro fotoelástico» — (figs. 1 e 2), destinado a produzir luz polarizada e a analisá-la após a sua reflexão no espelho.

O filamento pontual da lâmpada é colocado no foco da lente, obtendo-se assim um feixe de luz paralela. Fazendo-o incidir numa lâmina de vidro sob um ângulo tal que a sua tangente trigonométrica seja igual ao índice de refracção do vidro em relação ao ar, o feixe polariza-se linearmente por reflexão no plano de incidência (lei de Brewster). Sendo μ a constante fotoelástica do vidro e e a sua espessura, este feixe, incidindo normalmente sobre o espelho, atravessa-o duas vezes e ao sair dele está decomposto em dois outros polarizados em dois planos perpendiculares entre si e des-

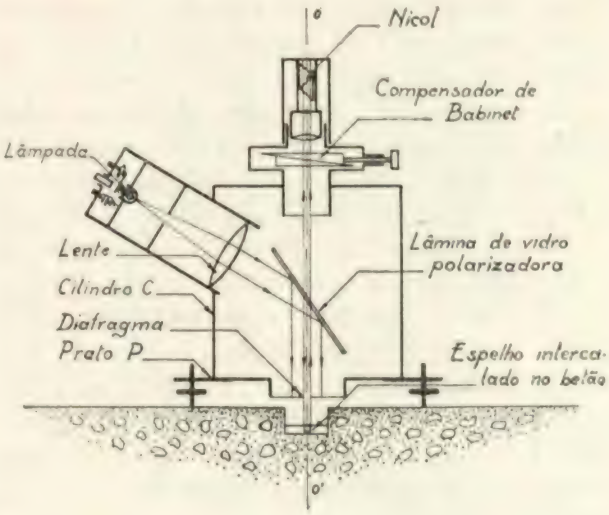


Fig. 1
Esquema do tensómetro fotoelástico (tipo I)

fasados, um em relação ao outro, dum comprimento

$$\Delta = 2\,\mu\,e\,(\sigma_{1v} - \sigma_{2v}), \qquad (1)$$

onde σ_{1v} e σ_{2v} são os valores das tensões principais actuantes no ponto do espelho onde se faz a incidência.

Fig. 2
O tensómetro fotoelástico (tipo I)

Estes dois feixes, cujos planos de polarização são paralelos às direcções das tensões principais σ_{1v} e σ_{2v}, são analisados após atravessamento dum nicol, cruzado com o plano

(1) Deve contudo notar-se que dentro do reduzido número de publicações sobre este método ninguém pôs, de facto, estas dificuldades. O que se sabe é que o método não tem sido, até hoje, correntemente empregado.

(2) A fim de recordar as noções de fotoelasticidade necessárias para a compreensão desta parte do presente artigo, ver, por ex., Manuel Rocha, «A fotoelasticidade no ensino e na técnica», *Técnica*, n.º 122, Julho de 1941, pág. 465.

de polarização do feixe incidente sobre o espelho.

O feixe da luz polarizada pela lâmina de vidro (fig. 1) pode rodar em torno do eixo OO_1' em virtude do cilindro C' poder ter um movimento de rotação em relação ao prato P, o que permite determinar a direcção das tensões principais. De facto, a luz observada através do nicol terá uma intensidade nula, isto é, será extinta, quando o plano de polarização do feixe incidente sobre o espelho for paralelo à direcção de uma das tensões principais.

O efeito fotoelástico ou atrazo, Δ, é medido com um compensador de Babinet [1] disposto como indica a fig. 1, e com uma das suas direcções principais fazendo um ângulo de 45° com o plano de polarização do feixe incidente e paralela a uma das tensões principais σ_{1v} ou σ_{2v}.

Conhecidos então o atraso Δ, a espessura do espelho e, e a constante fotoelástica do vidro μ, a fórmula (1) permite determinar a grandeza da diferença das tensões principais, $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$, existentes num ponto qualquer do vidro espelhado colocado no betão.

5. Ensaios de compressão simples da argamassa. — Para se ver com clareza como se relaciona a diferença das tensões principais medidas no espelho, $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$, com a diferença das tensões principais existentes na mesma região do betão, $\sigma_{1b} - \sigma_{2b}$, se lá não estivesse colocado o vidro espelhado, torna-se necessário começar por explicar o que se passa em campos de tensões uniformes em materiais de características menos complexas, no que respeita a homogeneidade, do que o betão, como por exemplo a argamassa fina ou a pasta pura de cimento.

No caso de um prisma (fig. 3) feito de um destes materiais, sujeito a uma compressão uniforme actuando segundo a sua maior dimensão, em qualquer ponto, a diferença das tensões principais $\sigma_{1b} - \sigma_{2b}$ reduz-se apenas a σ_{1b}.

(1) Para a descrição deste aparelho consultar, por exemplo, Coker and Filon, *A Treatise on Photoelasticity*, pág. 71, Cambridge University Press, 1931.

Colocando num ponto do prisma o espelho circular, é necessário relacionar a tensão aplicada ao prisma, σ_{1b}, com a diferença das tensões principais existentes no espelho [2].

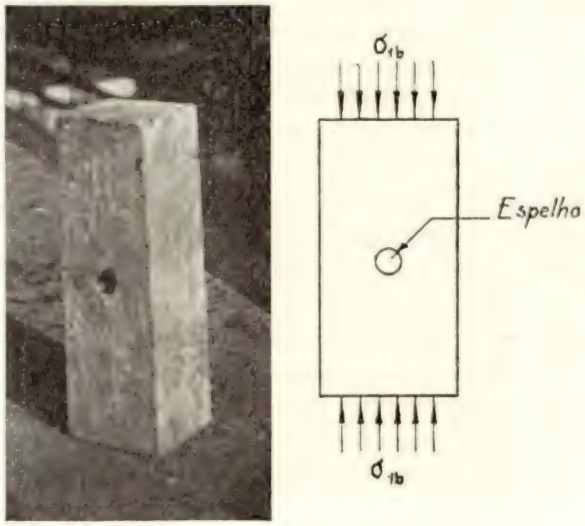


Fig. 3
Prisma de argamassa com espelho

As experiências (fig. 4) revelaram que $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ medido em qualquer ponto do espelho (excepto próximo da periferia), *era rigorosamente proporcional à tensão* σ_{1b} *aplicada ao prisma* (vêr a recta OA da fig. 5). Contudo, o coeficiente angular da recta variava bastante com o ponto do espelho considerado. *Essa variação podia estar, em certos casos, compreendida dentro do intervalo definido pelas rectas OA e OB.*

Este facto indica que a distribuição das tensões no disco de vidro está longe de ser uniforme.

Assim, na fig. 6 estão indicadas diversas distribuições da diferença das tensões principais ao longo do diâmetro normal à direcção da força actuante sobre o prisma de argamassa, em diversos espelhos colocados nas mesmas condições, em diferentes pris-

(2) Na realidade, por enquanto não se sabe se no espelho existirão duas tensões principais ou sòmente uma. Mais adiante (§ 13), quando for tratada a questão da determinação das duas tensões principais, ver-se-á que *a uma única tensão principal no betão, correspondem duas tensões principais no centro do espelho circular.*

mas. Como se vê, as diferenças entre as formas das curvas são notáveis.

Fig. 4
Dispositivo experimental utilizado para o estabelecimento da relação entre σ_{1b} e $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$

A observação de grande número de espelhos colocados em diversos prismas de ensaio, mostrou que a relação

$$K = \frac{\sigma_{1b}}{\sigma_{1v} - \sigma_{2v}} \qquad (2)$$

entre a tensão principal aplicada σ_{1b} e a diferença das tensões principais $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ medida no *centro do disco de vidro* se podia considerar constante, com uma aproximação satisfatória, isto é, com um erro mediano relativo de 10 % a 15 %.

A observação mostrou também que a direcção das tensões principais no *centro do espelho* coincidia sempre com a direcção das tensões principais aplicadas à peça.

Um estudo detalhado dos erros cometidos na determinação experimental da constante K relativa ao *centro do espelho* mostrou claramente que os desvios constatados não podiam ser, de modo algum, atribuidos aos erros experimentais de observação, dos quais os mais importantes são o erro de excentricidade da carga actuante sobre o prisma e o da determinação de $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ com o compensador de Babinet. Eles não eram também devidos a variações da constante fotoelástica do vidro, pois retirados dos primas de ensaio alguns espelhos e feita a determinação da sua constante fotoelástica, os vidros não apre-

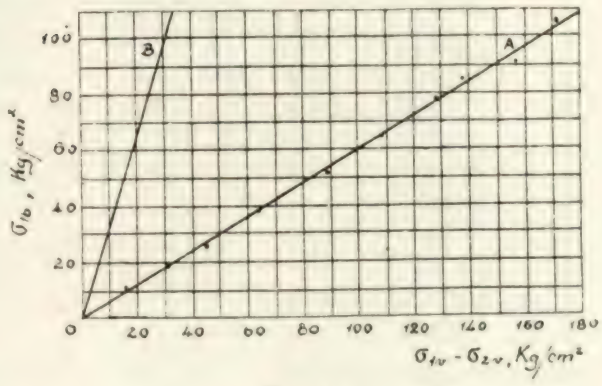


Fig. 5
Variação das tensões medidas no espelho com a tensão aplicada ao prisma

sentaram quaisquer diferenças no valor desta constante.

A grandeza destes desvios parece ainda não estar relacionada com a forma segundo a qual se faz a distribuição das tensões no

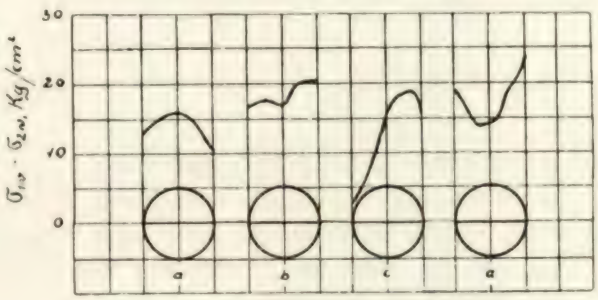


Fig. 6
Curvas típicas de variação de $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ ao longo do diâmetro do espelho normal a σ_{1b}. Tensão aplicada à argamassa: $\sigma_{1b} = 10$ kg/cm². Diâmetro dos espelhos: 2 cm. Espessura dos espelhos: 3,00 mm

espelho. De facto, o valor do erro relativo mediano de K é pràticamente o mesmo, quer se considerem os espelhos que têm as mesmas curvas de distribuição de tensões, quer se considerem todos em conjunto. É o que mostra o Quadro I, no qual estão indicados

Quadro I

Curvas do tipo (*a*)		Curvas de todos os tipos	
K	Desvios	K	Desvios
0,68	0,11	0,68	0,14
0,59	0,02	0,59	0,05
0,64	0,07	0,64	0,10
0 53	0,04	0,53	0,01
0,53	0,04	0,53	0,01
0,47	0,10	0,47	0,07
0,49	0,08	0,49	0,05
0,64	0,07	0,64	0,10
Média 0,57	Mediano 0,07	0,58	0,04
Erro mediano relativo 12 %		0,41	0,14
		0,59	0,05
		0,54	0,00
		0,40	0,14
Curvas do tipo (*b*)		0,53	0,01
K	Desvios	0,54	0,00
		0,54	0,00
0,58	0,07	0,52	0,02
0,41	0,10	0,54	0,00
0,59	0,08	Média 0,54	Mediano 0,06
0,54	0,03	Erro relativo mediano 11 %	
0,40	0,11		
0,53	0,02		
Média 0,51	Mediano 0,07		
Erro relativo mediano 14 %			

alguns valores de K [1] determinados para discos de vidro espelhado com 2 cm de diâmetro e com 3,00 mm de espessura, colocados em prismas de argamassa sujeitos a uma tensão de compressão.

A experiência provou que o erro de K era o mesmo, quer o espelho estivesse na argamassa quer na pasta pura de cimento. Este erro não variava também com o diâmetro do disco nem com a sua espessura. Então, as causas desta dispersão estarão certamente relacionadas com os diversos modos (acidentais) pelos quais o espelho poderá estar ligado à substância do prisma. Haverá provàvelmente defeitos de ligação, por exemplo devidos à existência de chochos e de pequenas fracturas locais, que modificarão de caso para caso as condições de solicitação do disco.

Contudo, o valor de K varia com o diâmetro do espelho e com a sua espessura. O aumento da espessura do disco parece provocar um ligeiro acréscimo de K, e o aumento do diâmetro faz crescer a sensibilidade do espelho, isto é, diminuir K, pelo menos quando o diâmetro varia de 1 a 5 cm.

6. Determinação experimental da constante de proporcionalidade K. — O processo mais cómodo de fazer a sua determinação consiste no ensaio de compressão simples de um prisma com uma altura pelo menos dupla da maior dimensão da secção transversal, tendo colocados 2 espelhos, um em cada face oposta (fig. 7) e sensìvelmente a meio destas faces.

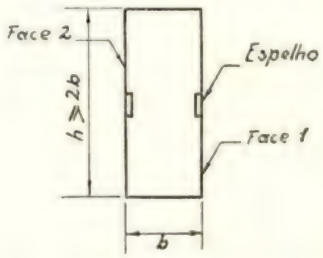


Fig. 7
Especimen prismático para a determinação de K

A colocação dos espelhos em faces opostas é essencial para a eliminação do erro de excentricidade das forças actuantes sobre as bases do prisma, pois, no caso da compressão ser acidentalmente excêntrica, a média das observações feitas em duas faces opostas vem isenta deste erro.

O Quadro II mostra o registo das observações que é necessário efectuar.

Os valores deste Quadro permitem desenhar o gráfico da fig. 8, do qual se deduz o valor de K. No caso presente obtem-se $K = 0,64$.

O seu valor fica geralmente determinado com a necessária precisão pela média das observações feitas em 3 prismas.

[1] Estes valores de K estão corrigidos do erro de excentricidade da carga actuante (§ 6).

Quadro II

Tensão média no prisma Kg/cm^2	Face 1		Face 2		Média das tensões $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ Kg/cm^2
	Efeito foto elástico (divisões do compensador)	$\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ Kg/cm^2	Efeito foto elástico (divisões do compensador)	$\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ Kg/cm^2	
0	0	0	0	0	0
9,8	0,52	16,7	0,43	13,8	15,2
19,6	1,04	33,4	0,85	27,2	30,3
29,3	1,49	47,8	1,31	42,0	44,9
39,1	2,10	67,5	1,76	56,6	62,0
48,9	2,52	81,0	2,20	70,9	76,0

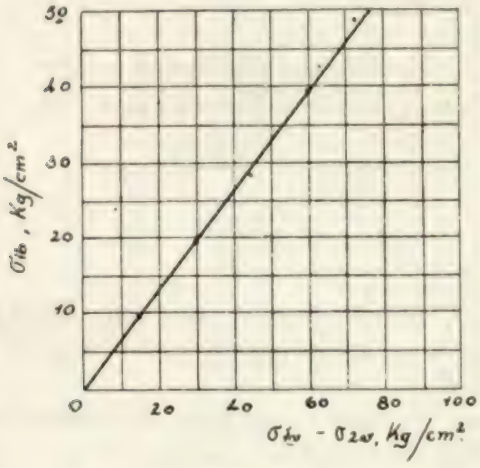


Fig. 8
Diagrama para a determinação de K

7. O espelho no betão. — A observação de espelhos colocados na superfície de prismas de betão no momento da sua betonagem mostrou uma divergência enorme entre os valores de K relativos aos diversos espelhos.

Na fig. 9 *a*, os diagramas a traço cheio relacionam as tensões no centro de dois espelhos colocados no betão com as tensões aplicadas ao prisma, tendo havido o cuidado de evitar os erros de excentricidade.

Na fig. 9 *b* é mostrada, também a traço cheio, a distribuição das diferenças das tensões principais ao longo dos diâmetros normais à direcção da força actuante.

Esta diferença é tão grande que torna impossível a aplicação do método, tal como foi descrito até aqui, à determinação das tensões existentes no betão.

É fácil atribuir esta diferença à variação das condições de actuação das forças provocadas pelo betão sobre o espelho, dada a

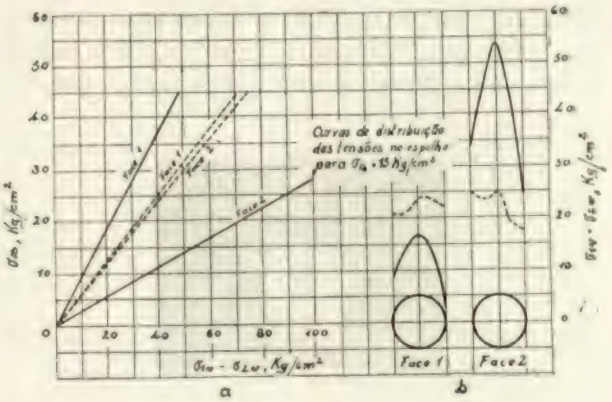


Fig. 9

heterogeneidade daquele material em face do tamanho do disco de vidro (2 cm de diâmetro).

De facto, retirados os espelhos das duas faces do prisma, aberta uma cavidade cilíndrica de dimensões convenientes no local que continha os espelhos (fig. 10), e recolocados estes mediante o enchimento dessas cavidades com argamassa, a determinação experimental de K conduziu aos diagramas a tracejado representados nas figs. 9 *a* e 9 *b*.

Fig. 10
Disposição correcta dos espelhos no betão

A diferença entre estes dois comportamentos é, na verdade, notável, e a experiência mostrou que os valores de K tirados dos diagramas a tracejado, se reproduzem em todos os espelhos idênticos colocados no betão do mesmo modo.

Daqui resultam dois modos de colocação do espelho no betão, conforme a fase em que ele estiver. Num, aplicado durante a betonagem, é necessário preparar, no laboratório,

pequenos cilindros de argamassa nos quais se coloca o espelho (fig. 11). As dimensões usadas são tais que o diâmetro é igual a duas vezes a dimensão máxima do maior elemento inerte que entra na granulometria do betão, e a altura é igual a esta maior dimensão. Após o endurecimento conve-

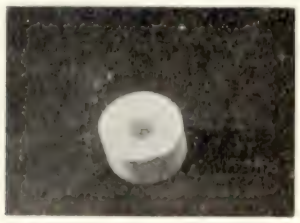


Fig. 11
Cilindro de argamassa com espelho, para colocar no betão

niente da argamassa (por exemplo, cerca de 1 mês) o cilindro é colocado na superfície do betão, durante a betonagem.

No outro modo de colocação do espelho, adoptado principalmente quando se pretende determinar tensões numa obra já concluida, abre-se, no betão já endurecido, uma cavidade cilíndrica com as dimensões análogas às do cilindro atrás referido. Em seguida procede-se ao seu enchimento com argamassa, na qual se coloca o espelho, usando uma técnica especial que é descrita a seguir (§ 8).

8. Colocação do espelho após o endurecimento. O valor de K.— Uma vez escolhido o ponto onde se pretende fazer a determinação das tensões, abre-se aí uma cavidade cilíndrica, cujas dimensões devem obedecer à regra anterior. Em seguida, a superfície da peça com duas ou três vezes o diâmetro desta cavidade, é mantida em contacto permanente com a água, pelo menos durante 24 h., para o que se usa um aparelho especial — «dispositivo de molhagem» — descrito mais adiante (§ 18, figs. 24 e 25).

Depois dos capilares do cimento da vizinhança desta cavidade estarem saturados de água, procede-se imediatamente ao enchimento desta cavidade com argamassa, a qual deve ser bem apiloada. Em seguida coloca-se o espelho, que deve ficar alguns milímetros abaixo da superfície da peça (fig. 12 *a*). É necessário evitar que ele fique acima da superfície (fig. 12 *b*) pois o valor de *K* sofre grandes variações com a altura acima desta superfície, a que o espelho é colocado.

É necessário usar argamassas nem muito ricas de cimento, para se evitar a grande contracção, nem também tão pobres que corram o risco do espelho se descolar. A

Fig. 12

sua granulometria deve ser bem estudada, de modo a apresentar a menor contracção possível [1].

Uma ou duas horas após a colocação dos espelhos recomeça-se novamente a molhagem com os dispositivos atrás referidos, a qual se deve prolongar ininterruptamente durante, pelo menos, 3 a 4 semanas.

Não é possível, presentemente, dizer alguma coisa acerca do comportamento, a longo prazo, dos espelhos assim colocados, por não haver ainda observações durante um tempo suficientemente longo. Contudo, parece que a argamassa não se mantém, durante muito tempo, ligada ao betão. De facto, com o decorrer do tempo, o espelho vai perdendo a sensibilidade às tensões impostas pelo betão. Embora nos primeiros meses a ligação se recomponha pela acção

---

[1] Tem-se usado uma granulometria descontínua, tipo Feret, com traço de 1/3, com bons resultados:

Areia passando através do peneiro de 0,73 mm. 6 partes (em peso).

Areia passando através do peneiro de 2,8 mm e retida no peneiro de 1,7 mm: 9 partes (em peso).

Cimento: 5 partes (em peso).

da água, pois então K retoma o valor que tinha inicialmente, não se sabe ainda o que se passará ao fim de alguns anos. É extremamente duvidoso que o espelho, muito tempo após a sua colocação, esteja ligado ao betão.

De todas as tentativas feitas para diminuir o erro da constante K, este meio de colocação do espelho foi o que se revelou mais eficaz, não só quando usado no betão, como também na argamassa. Neste último caso dá-se à cavidade cilíndrica umas dimensões alguns milímetros maiores do que as do espelho.

Quando o espelho é colocado após o endurecimento, o erro mediano relativo de K raras vezes excede 10 %, estando geralmente compreendido entre 6 % e 9 %. Este erro é inferior ao obtido nos espelhos colocados na argamassa durante a moldagem, o qual está, como se viu (§ 5), compreendido entre 10 % e 15 %.

O valor de K do espelho colocado na argamassa após o endurecimento é bastante diferente do valor relativo ao do espelho colocado durante a moldagem. Assim, a constante K de espelhos com 3,89 mm de espessura e 3,5 cm de diâmetro colocados na argamassa durante a moldagem é de 0,41. Se eles forem colocados após o endurecimento, K toma o valor de 0,67.

9. Colocação do espelho durante a betonagem. — O processo mais expedito de colocação do espelho é sem dúvida aquele em que se utiliza o pequeno cilindro de argamassa, pois embora conduza a resultados menos precisos do que o anterior, parece ter a vantagem da ligação ao betão ser durável, pelo menos durante o tempo em que há, actualmente, observações (1 ano).

A argamassa de que são feitos os cilindros obedece às mesmas regras da anterior (§ 8).

Sobre a técnica da sua colocação no betão nada há, de especial, a dizer, a não ser frisar mais uma vez que estes cilindros devem ser utilizados depois de se ter dado a maior parte da contracção da argamassa (geralmente após 1 mês da sua execução).

O erro mediano relativo com que neste caso se conhece o valor de K é de 10 % a 15 %, isto é, o mesmo que para espelhos colocados directamente na argamassa durante a moldagem.

CAPÍTULO II

A determinação das duas tensões principais na superfície dum sólido

10. A determinação de tensões na superfície dum sólido. — Acabou-se de ver como se podia determinar a tensão actuante num elemento em que existe apenas uma tensão principal, a partir do conhecimento da diferença das tensões principais no centro do espelho.

Casos reais de peças em tais condições, são muito vulgares nas aplicações.

Contudo, o método já descrito pode dar fàcilmente a diferença e a direcção das tensões principais no caso do espelho estar colocado na superfície dum sólido onde o campo de tensões não seja uniforme.

De facto, sejam σ_{1b} e σ_{2b} as duas tensões principais actuantes num elemento de superfície (fig. 13). Pelo que fica exposto, à tensão σ_{1b} corresponderá a diferença $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ no centro do espelho

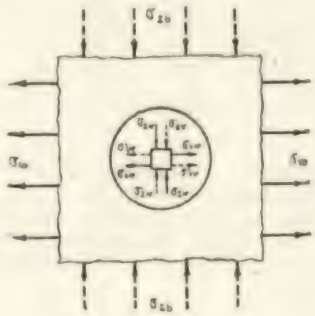


Fig. 13

$$\sigma_{1b} = K\,(\sigma_{1v} - \sigma_{2v}) \qquad (a)$$

e à tensão σ'_{2b} corresponderá a diferença $\sigma'_{2v} - \sigma'_{1v}$ tal que,

$$\sigma_{2b} = K\,(\sigma'_{2v} - \sigma'_{1v}), \qquad (b)$$

sendo a constante K a mesma nos dois casos pois se trata dum mesmo espelho. Medindo

o efeito fotoelástico no centro do disco, o valor que se determina é

$$\sigma_{1v} + \sigma'_{1v} - (\sigma_{2v} + \sigma'_{2v}).$$

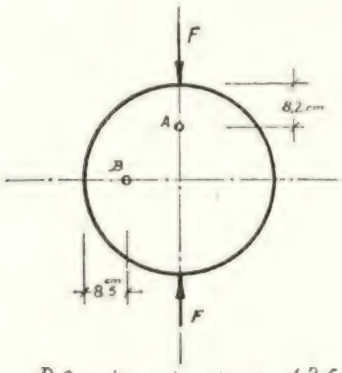
Resulta portanto de (a) e (b) que

$$\sigma_{1b} - \sigma_{2b} = K[\sigma_{1v} + \sigma'_{1v} - (\sigma_{2v} + \sigma'_{2v})] \quad (3)$$

onde $\sigma_{1b} - \sigma_{2b}$ é a diferença das tensões principais na região do betão onde está colocado o espelho.

A experiência provou que, de facto, assim era.

Num domínio a 2 dimensões fàcilmente resolvido pela teoria da elasticidade, um disco sujeito à acção de duas forças de compressão actuando segundo um diâmetro, foram colocados espelhos conforme indica a fig. 14. Determinadas as tensões por via analítica e por via experimental, as concor-



Diâmetro do disco 43,5 cm
Espessura do disco 4,0 cm
Diâmetro dos espelhos 2,0 cm
Espessura dos espelhos 0,62 cm
Forças actuantes F=2000 Kg

Fig. 14

dâncias foram perfeitas, como mostra o Quadro III.

Quadro III

Pontos	Ângulo duma tensão principal com a direcção das forças F		Diferença das tensões principais Kg cm2		Erro relativo
	Calculado	Observado	Calculada	Obervada	
A	0°	2°	−47,8 (1)	−51,6	8 %
B	0°	0°	− 7,0	− 7,5	4 %

(1) O sinal — designa uma tensão de compressão, e o sinal + uma tensão de tracção.

Claro que este conhecimento da direcção e da diferença das tensões principais não satisfaz completamente, pois são muito frequentes e extremamente importantes na construção os domínios em que há necessidade de conhecer as duas tensões principais.

11. A determinação das duas tensões principais. — Na fotoelasticidade a determinação da diferença das tensões principais é imediata. A determinação das duas tensões é já muito mais delicada e extremamente morosa, havendo para isso uma dezena de métodos diferentes. Passados em revista esses métodos, o que melhor se adaptará ao caso presente é o de Tesar (2). Neste método abrem-se pequenos furos circulares de diâmetro dependente da variabilidade das tensões na zona considerada, e nos pontos em que se quere determinar as duas tensões principais. O conhecimento das tensões máxima e mínima no contorno desse furo permite determinar as tensões actuantes no elemento de área que o contém. Estas tensões no contorno do furo determinam-se fàcilmente, por exemplo, com o compensador de Babinet.

A primeira questão que se levanta é a escolha do diâmetro do furo. A sua localização terá de ser no centro do espelho, pois é aí que se fez com êxito o estabelecimento duma relação, pràticamente constante, entre a tensão no vidro e a tensão no betão.

A observação dos diversos tipos mais frequentes de curvas de distribuição dos valores $\sigma_{1v} - \sigma_{2v}$ ao longo do diâmetro normal a σ_{1b}, (fig. 6), mostra que se o diâmetro do furo for grande (digamos, 1 cm) o valor médio das tensões actuantes no seu contorno será muito diferente de caso para caso, donde resultará uma variação notável de K.

A experiência tem mostrado que furos de 2 a 3 mm dão bons resultados em espelhos com cerca de 2 cm de diâmetro. O pequeno diâmetro do furo é uma causa importante de erro que, contudo, se pode

(2) Tesar, *La Science Aerienne*, Set. - Out., 1933.

atenuar pelo aumento de precisão dos métodos de medição.

A observação, com auxílio dum microscópio, dos bordos dos furos mostrou que eles se apresentam irregulares e que é impossível a determinação das tensões no contorno geométrico desses furos, mesmo com cuidados muito excepcionais na sua execução. Há sempre uma pequena zona envolvendo o furo com importantes perturbações locais (pequenas facturas conchoidais, características do vidro) na qual se não pode determinar a tensão, por não haver a visibilidade necessária.

Este facto é extremamente importante, pois a variabilidade das tensões na zona que envolve o furo, é muito grande, de tal modo que um grande erro é cometido na determinação da tensão existente no bordo do furo, se essa medição for feita a uma certa distância do contorno. Esta distância está compreendida, no caso de furos muito bem executados, entre 0,3 e 0,6 mm [1].

Nestas condições, as fórmulas derivadas por Tesar não são aplicáveis, mas é possível modificá-las de modo a entrar com correcções apropriadas resultantes de se não fazer observações no contorno mas sim a a uma certa distância dele.

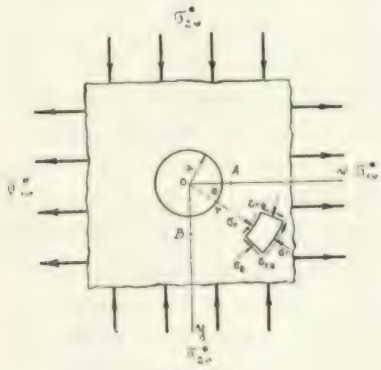


Fig. 15

Com efeito, consideremos uma placa submetida à acção de duas tensões uniformes σ^*_{1v} e σ^*_{2v} actuantes no seu plano, e dirigidas segundo os eixos Ox e Oy (fig. 15). Abrindo um pequeno furo circular de raio R com centro na origem das coordenadas, as tensões num ponto qualquer da placa, de coordenadas polares (r, θ), serão dadas pelas expressões [2]:

$$\sigma_r = \frac{1}{2}\left(\sigma^*_{1v} + \sigma^*_{2v}\right)\left(1 - \eta^2\right) + \frac{1}{2}\left(\sigma^*_{1v} - \sigma^*_{2v}\right)\alpha \cos 2\theta$$

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2}\left(\sigma^*_{1v} + \sigma^*_{2v}\right)\left(1 + \eta^2\right) - \frac{1}{2}\left(\sigma^*_{1v} - \sigma^*_{2v}\right)\left(1 + 3\eta^4\right)\cos 2\theta \qquad (a)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{1}{2}\left(\sigma^*_{1v} - \sigma^*_{2v}\right)\beta \operatorname{sen} 2\theta ,$$

sendo

$$\eta = \frac{R}{r}$$

$$\alpha = 1 + 3\eta^4 - 4\eta^2$$

$$\beta = 1 - 3\eta^4 + 2\eta^2 .$$

Neste ponto da placa a diferença das tensões principais é

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2\sqrt{\left(\frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{2}\right)^2 + \tau^2_{r\theta}} , \qquad (b)$$

sendo σ_r, σ_θ e $\tau_{r\theta}$ dados pelas expressões (a).

A determinação experimental de $\sigma_1 - \sigma_2$ pode fazer-se muito fàcilmente com o compensador de Babinet.

Chamando $\bar{\sigma}_1$ ao valor da diferença das tensões principais no ponto A $(r_1, 0)$ e $\bar{\sigma}_2$ ao valor desta diferença no ponto B $(r_2, \frac{\pi}{2})$, das expressões (a) e (b) resulta

$$\left(\sigma_1 - \sigma_2\right)_{r_1, 0} = \bar{\sigma}_1 = \left(\sigma^*_{1v} + \sigma^*_{2v}\right)\eta_1^2 - \left(\sigma^*_{1v} - \sigma^*_{2v}\right)\alpha_1$$

$$\left(\sigma_1 - \sigma_2\right)_{r_2, \frac{\pi}{2}} = \bar{\sigma}_2 = \left(\sigma^*_{1v} + \sigma^*_{2v}\right)\eta_2^2 + \left(\sigma^*_{1v} - \sigma^*_{2v}\right)\alpha_2 , \qquad (c)$$

(1) Basta notar que numa placa sujeita a uma tensão uniforme e com um furo de 3 mm de diâmetro, a tensão a 0,3 mm do furo é 0,40 da tensão no seu contorno e a 0,6 mm é 0,25 da tensão no contorno. Estes valores referem-se a pontos sobre uma direcção diametral normal à da tensão actuante.

(2) S. Timoshenko, *Theory of Elasticity*, pág. 75, 1.ª ed., 1934.

sendo

$$\eta_1 = \frac{R}{r_1}$$

$$\alpha_1 = 1 + 3\,\eta_1^4 - 2\,\eta_1^2$$

$$\eta_2 = \frac{R}{r_2}$$

$$\alpha_2 = 1 + 3\,\eta_2^4 - 2\,\eta_2^2\,.$$

Das expressões (c) se deduzem os valores de σ^*_{1v} e σ^*_{2v}

$$\sigma^*_{1v} = \frac{\bar{\sigma}_1\,(\alpha_2 - \eta^2_2) + \bar{\sigma}_2\,(\alpha_1 + \eta^2_1)}{2\,(\alpha_1\eta^2_2 + \alpha_2\,\eta^2_1)}$$

$$\sigma^*_{2v} = \frac{\bar{\sigma}_1\,(\alpha_2 + \eta^2_2) + \bar{\sigma}_2\,(\alpha_1 - \eta^2_1)}{2\,(\alpha_1\,\eta^2_2 + \alpha_2\,\eta^2_1)}\,. \qquad (4)$$

Pode-se então calcular as tensões σ^*_{1v} e σ^*_{2v} uma vez conhecido o raio do furo R e as diferenças das tensões principais $\bar{\sigma}_1$ e $\bar{\sigma}_2$ existentes nos pontos A e B às distâncias r_1 e r_2 do centro do furo, tomados sobre as direcções principais Ox e Oy. As tensões (4) podem agora ser consideradas as tensões principais existentes no centro do espelho, se não houvesse o furo.

Para se fazerem aplicações destas expressões, foram determinadas as duas tensões principais em diversos pontos dum disco de vidro com 20 cm de diâmetro, submetido à acção de duas forças de compressão actuando segundo um diâmetro. Nesses pontos abriram-se furos com 2 mm de diâmetro.

Os resultados a que se chegou revelaram que com o aparelho a seguir descrito (§ 12) se determinam tensões σ^*_{1v} e σ^*_{2v} com erros que não excedem 5 %.

12. Descrição sumária do aparelho utilizado (Tensómetro fotoelástico do tipo II). — Para a determinação das tensões principais com auxílio das expressões (4), foi projectado e construido [1] um aparelho análogo ao já anteriormente descrito (§ 4), mas que permite medir as distâncias dos pontos observados ao centro do furo (figs. 16 e 17).

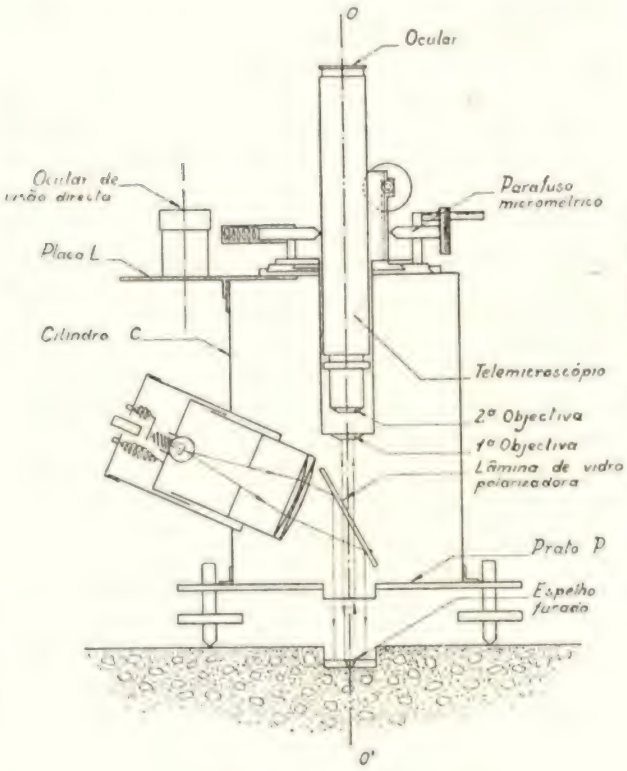


Fig. 16
Esquema do tensómetro fotoelástico (tipo II)

Para medir estas distâncias com a precisão necessária (cerca de 0,01 mm) instalou-se no aparelho um telemicroscópio. Este pode deslocar-se em relação ao cilindro C (fig. 16) segundo dois eixos normais entre si e existentes num plano paralelo ao do espelho, ao qual o eixo OO' é colocado normalmente. Os pequenos movimentos são efectuados por meio de parafusos micrométricos.

As medições das diferenças das tensões principais, $\bar{\sigma}_1$ e $\bar{\sigma}_2$, são efectuadas com o compensador de Babinet já referido (§ 4). Para isso retira-se a ocular e substitue-se esta pelo compensador munido do respectivo nicol (fig. 17 a).

A placa L (fig. 16) pode deslizar no seu plano, de tal sorte que o eixo da ocular de visão directa pode fazer-se coincidir com o eixo OO' do aparelho (fig. 17 b) o que permite utilizar este aparelho exactamente como o do tipo I.

[1] Nas Oficinas de Instrumentos de Precisão do I. S. T., sob a direcção do Sr. Álvaro Luis Simões, Chefe de Oficina.

13. As tensões principais no centro do espelho devidas a uma compressão simples no betão. — Para se estabelecer as relações entre as tensões principais no espelho e as actuantes no betão na região que o contém, recorreu-se a ensaios de compressão simples.

Estes ensaios revelaram que a uma tensão principal de compressão, σ_{1b}, aplicada à peça de betão correspondem duas tensões principais no centro do espelho (fig. 18).

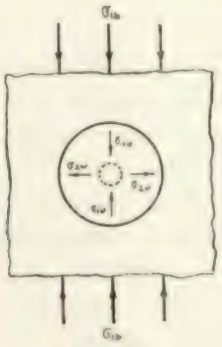


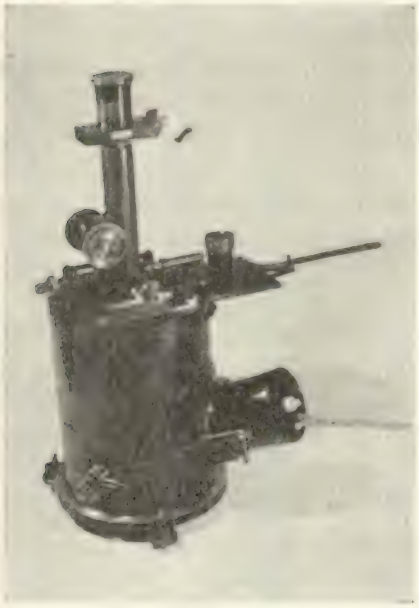
Fig. 18

Uma dessas tensões, σ_{1v}, é dirigida segundo a direcção de σ_{1b} e é uma tensão de compressão.

A outra, σ_{2v}, actuante na direcção normal a esta, é uma tracção de pequena grandeza.

A experiência mostra que tanto a tensão σ_{1v} como a tensão σ_{2v} são proporcionais à tensão σ_{1b}

$$\begin{aligned} \sigma_{1b} &= K_1\, \sigma_{1v} \\ \sigma_{1b} &= K_2\, \sigma_{2v}. \end{aligned} \qquad (5)$$



a Fig. 17 *b*

O tensómetro fotoelástico (tipo II)

O erro relativo com que K_1 é conhecido é pràticamente igual ao da constante K (§§ 5, 8 e 9). O erro relativo de K_2 é bastante maior do que o de K_1, o que é certamente devido ao facto da segunda tensão principal, σ_{2v}, ser muito pequena.

As considerações feitas atrás (§§ 5, 8 e 9) sobre a variabilidade do valor de K, são também inteiramente aplicáveis a K_1 e K_2. De facto, as dimensões dos espelhos e o tipo da sua colocação na argamassa ou no betão influem sobre os valores de K_1 e K_2.

14. As tensões principais no centro do espelho devidas à existência de duas tensões principais no betão. — Consideremos um elemento de volume, junto da superfície, sobre o qual actuam as duas tensões principais σ_{1b} e σ_{2b} (fig. 13).

Em virtude da existência de σ_{1b}, no centro do espelho serão geradas duas tensões σ_{1v} e σ_{2v}, actuando respectivamente nas direcções paralela e normal a σ_{1b}.

Por outro lado, à tensão σ_{2b} corresponderão duas outras tensões no centro do disco, σ'_{2v} e σ'_{1v}.

Então, as tensões principais no centro do espelho são

$$\begin{aligned} \sigma^*_{1v} &= \sigma_{1v} + \sigma'_{1v} \\ \sigma^*_{2v} &= \sigma_{2v} + \sigma'_{1v} \end{aligned} \qquad (a)$$

as quais vão ser relacionadas com as tensões σ_{1b} e σ_{2b} por meio do conhecimento de K_1 e K_2.

Chamando $\varkappa$ á relação entre estas duas constantes

$$\varkappa = \frac{K_1}{K_2} \qquad (6)$$

as expressões (5), (a) e (6) permitem determinar

$$\begin{aligned} \sigma_{1b} &= K_1 \frac{\sigma^*_{1v} - \varkappa\, \sigma^*_{2v}}{1 - \varkappa^2} \\ \sigma_{2b} &= K_1 \frac{\sigma^*_{2v} - \varkappa\, \sigma^*_{1v}}{1 - \varkappa^2} \,. \end{aligned} \qquad (7)$$

Estas são as expressões que permitem determinar as duas tensões principais no betão, σ_{1b} e σ_{2b}, a partir do conhecimento das tensões principais no centro do espelho se não houvesse o furo, $\overset{*}{\sigma}_{1v}$ e $\overset{*}{\sigma}_{2v}$.

Experiências realizadas sobre primas de betão sujeitos à compressão simples, com espelhos de 2 cm de diâmetro e 6,82 mm de espessura, colocados em cilindros de argamassa de 6 cm de diâmetro e 3 cm de altura, revelaram que

$$\varkappa_1 = 0{,}93\ (1 \pm 0{,}03)$$

$$K = -\,0{,}15\ (1 \pm 0{,}20)$$

$$\frac{K}{K_1} = 0{,}8\,.$$

Para espelhos de 3,5 cm de diâmetro e 5,8 mm de espessura colocados na argamassa, estes valores são:

$$\varkappa = 0{,}48\ (1 \pm 0{,}15)$$

$$K_1 = 0{,}00$$

$$\frac{K}{K_1} = 1{,}1\,.$$

Como se vê, o valor de $\varkappa$ é muito pequeno e, na maior parte dos casos, pode ser desprezado. Contudo, quando as duas tensões σ_{1b} e σ_{2b} são de grandezas muito diferentes, a correcção introduzida por $\varkappa$ deve ser considerada no cálculo da menor destas tensões.

15. As tensões iniciais em torno do furo. — A execução, por métodos mecânicos, do furo no vidro provoca o aparecimento de tensões no seu contorno, que vão alterar o valor das tensões principais σ^*_{1v} e σ^*_{2v}.

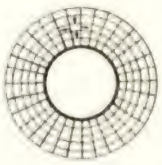


Fig. 19
Rede das isostáticas das tensões iniciais em torno do furo

A observação mostrou que a rede das isostáticas destas tensões era sempre constituída por circunferências concêntricas com o furo e pelas suas direcções diametrais (fig. 19). Um tal campo de tensões permite fàcilmente introduzir correcções nas grandezas observadas $\bar{\sigma}_1$ e $\bar{\sigma}_2$, pois então bastar-lhes-á subtrair algèbricamente o valor da diferença das tensões principais iniciais existentes nos mesmos pontos, porque as suas direcções coincidem com as direcções de σ^*_{1v} e σ^*_{2v}.

A existência das tensões iniciais em torno do furo obriga a fazer observações no espe-

lho, antes de ele ser colocado no cilindro de argamassa.

Como não se conhece prèviamente a direcção das tensões principais a que ele está submetido quando colocado no betão, não se pode fazer a medição da diferença das tensões principais iniciais em pontos escolhidos do furo. Então, é necessário fazer estas medições em diversos pontos, a diversas distâncias do bordo do furo, e depois registá-las convenientemente, por exemplo sob a forma de um gráfico (fig. 20). Estas observações devem ser feitas até cerca de 3 mm do bordo do furo (para furos com cerca de 3 mm de diâmetro), pois assim se obterá este gráfico com maior precisão. Além disso, muitas vezes os bordos do furo tornam-se mais imperfeitos em virtude de limpezas do espelho, do furo,

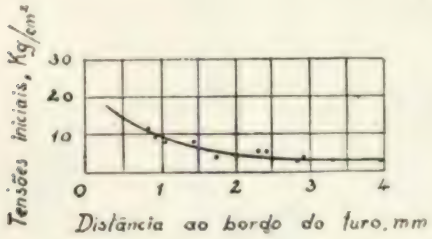
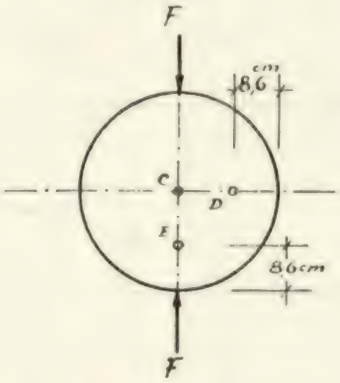


Fig. 20
Variação das tensões iniciais em torno do furo com a distância ao bordo

etc., e então poder-se-á ter de fazer a determinação de tensões em pontos relativamente longe do furo. Estas medições devem também ser distribuídas uniformemente à roda do furo, pois a dispersão dos pontos em torno da curva média da fig. 20 deve ser considerada, não como devida sòmente aos erros acidentais de determinação das tensões e de medição das distâncias, mas também à própria ligeira assimetria da distribuição das tensões iniciais.

16. Comparação com resultados fornecidos pela teoria da elasticidade. — Como aplicação deste método de determinação das duas tensões principais foi ensaiado um disco de argamassa no qual se colocaram três espelhos furados nas posições indicadas na fig. 21, além de outros dois, sem furos, a que já se fez referência (§ 10).



Diâmetro do disco 43,5 cm
Espessura do disco 4,0 cm
Diâmetro dos espelhos 2,0 cm
Espessura dos espelhos 0,62 cm
Diâmetro dos furos 0,3 cm
Forças actuantes F = 2 000 Kg

Fig. 21

Foram medidas as tensões provocadas pela acção de duas forças de compressão actuando segundo um diâmetro. Os valores

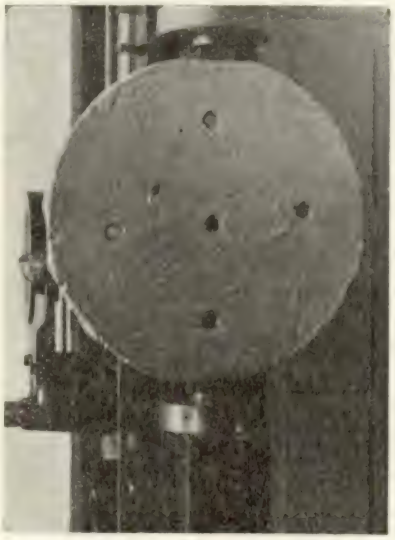


Fig. 22
Disco montado na máquina de ensaios

obtidos estão comparados com os calculados, no Quadro IV.

Quadro IV

Pontos	Tensões principais						Erros relativos	
	Ângulo com a direcção de F		Grandezas, Kg/cm²					
	Calculado	Observado	Calculadas		Observadas			
			σ_{1b}	σ_{2b}	σ_{1b}	σ_{2b}	σ_{1b}	σ_{2b}
C	0°	0°	− 22,2	+ 7,4	− 21,4	+ 7,6	4 %	3 %
D	0°	3°	− 9,6	+ 1,4	− 11,2	+ 2,1	17 %	—
E	0°	0°	− 40,1	+ 7,4	− 41,5	+ 7,8	4 %	5 %

(Continua)

Fabrico nacional de pneus e câmaras de ar

PRODUTOS «MABOR»

MANUFACTURA NACIONAL DE BORRACHA

S. A. R. L.

CAPITAL 30.000 CONTOS

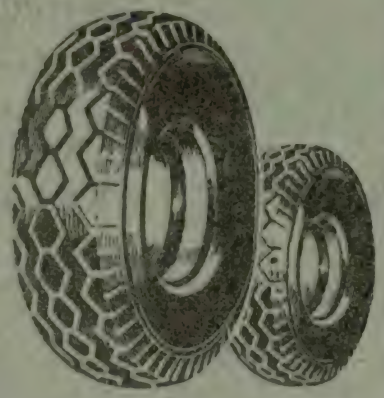
Sede provisória:

Rua Sá da Bandeira, 562-4.º—PORTO

Telefones 4234 e 6734 Telegramas MABOR-PORTO

Fábrica em Lousado (Vila Nova de Famalicão)

Telefone 36 Trofa



Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

A APARECER BREVEMENTE

TOPOGRAFIA GERAL

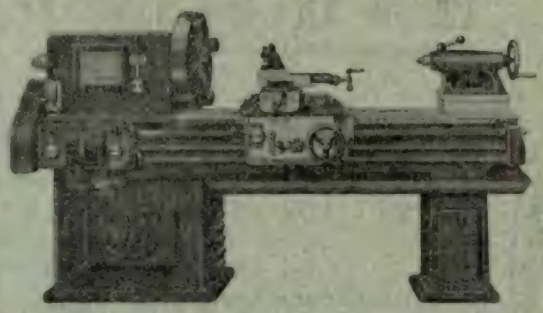
Pelo Eng.º CARVALHO XEREZ

Contendo:

TOPOGRAFIA
FOTOGRAMETRIA
ELEMENTOS DE GEODESIA E
ASTRONOMIA GEODÉSICA

EDIÇÃO DA
TÉCNICA

TORNOS DE QUALIDADE



Fabricados segundo tolerâncias «Schlesinger», NA ORDEM DO 1/100 mm e empregando aços especiais, também de Cr-Ni, os nossos tornos são PELO MENOS TÃO BONS COMO OS MELHORES ESTRANGEIROS

Máquinas de Precisão, Ltd.ª

(Director: Eng. J. d'Arriaga de Tavares)

45, Rua da Boa Vista, 49-1.º

TELEF. 6 1581 LISBOA

INDICAÇÕES TECNICAS
PROJECTOS DE
REDES ELÉCTRICAS — TELEFÓNICAS

POSTES

CAVAN

Electrificação Caminho de Ferro—Brasil

LISBOA — Rua D. Estefânia, 42
Telef. 4 7812
PORTO — Praça da Batalha, 90-2.º
Telef. 7117

CÁLCULO DUM SILO RECTANGULAR DE BETÃO ARMADO (*)

POR EDUARDO CANSADO DE CARVLHO
(Do Curso de Engenharia Civil)

C. D. 624.012.3

CÁLCULOS

1 — Dados do problema: (Fig. 1)

Pretende-se calcular um silo rectangular de betão armado, com seis células e destinado a armazenar aveia.

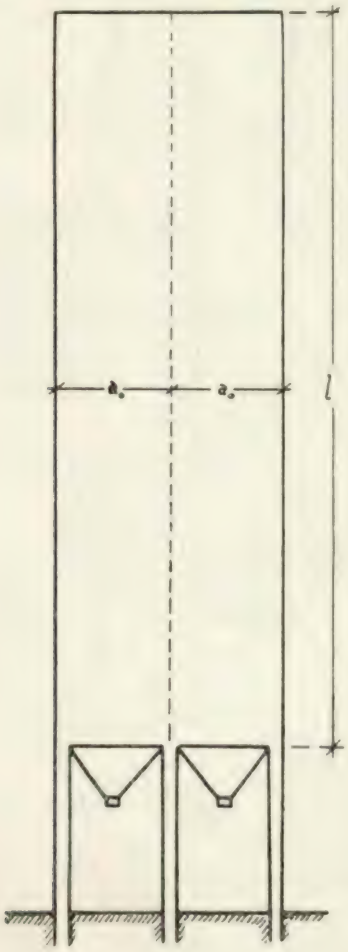


Fig. 1

Os restantes dados gerais do problema são:

$l = 21{,}0$ m
$a_0 = 3{,}2$ m
$b_0 = 3{,}4$ m
Vento: 120 kg/m²
Carga de segurança da fundação: 3,7 kg/cm²

2 — Bibliografia consultada:

O problema dos silos só recentemente é que tem sido estudado com mais detalhe em virtude da generalização do armazenamento de cereais em todos os países e do consequente aumento do número de silos.

Na falta de melhores indicações para con-

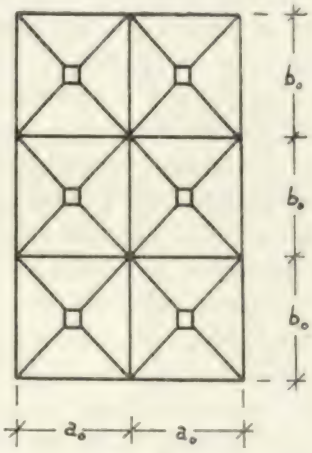


Fig. 1-A

duzir os cálculos indicam-se a seguir alguns autores que tratam deste problema:

SANTARELLA — Il cemento armato.
MAGNEL — Cours de stabilité des contructions.

(*) *Parte dum trabalho efectuado na Cadeira de Construções Civis e Betão Armado, II parte, no ano lectivo 1945/46. Publicação recomendada pelo Assistente da Cadeira, Eng.º Manuel Bravo.*

Arosio — Manual delle Inginiere.
Simon Goldenhorn — Calculista de estructuras.
Magny — Ciment armé.
Arcangeli — Le costruzioni in cemento armato.

Na revista «Travaux», no n.º 61 e mais recentemente nos n.os 122 e 123 também se encontram referências ao cálculo dos silos.

3 — Constantes adoptadas:

Para o cálculo da pressão sobre as paredes do silo vão adoptar-se os seguintes valores:

peso específico da aveia..... $\gamma = 0{,}8$ ton/m³
ângulo de atrito interno da aveia..... $\varphi = 25°$
coeficiente de atrito da aveia sobre as paredes do silo... $f = 0{,}3$

4 — Pressão contra as paredes: (Fig. 2)

O efeito da matéria ensilada traduz-se por uma impulsão ou pressão horizontal q sobre as paredes e por uma pressão vertical p nas tremonhas.

O cálculo desta impulsão e desta pressão é diferente consoante se trata de silos com células estreitas e profundas, caracterizadas por um pequeno valor da relação A/l em que **A** representa a secção e **l** a profundidade média duma célula, ou de silos com células largas mas pouco profundas, semelhantes «grosso modo» a um grande funil e caracterizadas portanto por um valor elevado da relação A/l.

No caso presente, as células são estreitas e profundas e trata-se portanto do 1.º caso.

Nestas condições, não é possível aplicar as fórmulas usuais da impulsão de terras segundo a teoria de Coulomb (nesta teoria a impulsão é proporcional à profundidade considerada) visto que se não pode desprezar o atrito sobre as paredes.

É necessário então recorrer a outras fórmulas que tenham em conta este efeito.

As fórmulas que resolvem o problema são:

$$q = q_{máx}\left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}}\right)$$

$$q_{máx} = \frac{\gamma \cdot A}{f \cdot L};$$

$$z_0 = \frac{1}{f \cdot K_1} \cdot \frac{A}{L} \quad \text{e} \quad K_1 = tg^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$$

em que:

q = impulsão a uma profundidade z
e = base dos logaritmos neperianos
A = área da célula
L = perímetro da célula

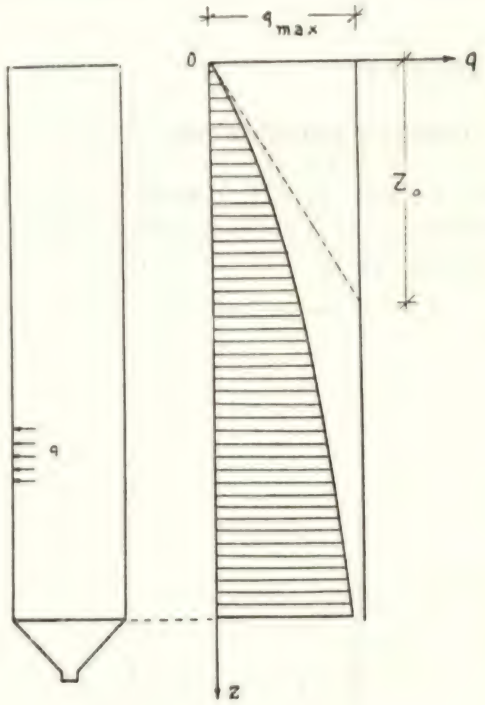


Fig. 2

Substituindo valores teremos:

$A = 3{,}2 \times 3{,}4 = 10{,}9$ m²
$L = 2\,(3{,}2 + 3{,}4) = 13{,}2$ m

$$K_1 = tg^2\left(45 - \frac{25}{2}\right) = 0{,}406$$

$$z_0 = \frac{1}{0{,}3 \times 0{,}406} \cdot \frac{10{,}9}{13{,}2} = 6{,}8 \text{ m}$$

$$q_{máx} = \frac{0{,}8 \times 10{,}9}{0{,}3 \times 13{,}2} = 2{,}2 \text{ ton/m}^2$$

5 — Valor da impulsão a uma profundidade z

$$q = 2{,}2\left(1 - e^{-\frac{z}{6{,}8}}\right) \text{ ton/m}^2 \qquad z \text{ — em metros}$$

6 — Impulsões para várias profundidades de 4,0 em 4,0 m

Na pág. 328 do livro de Arcangeli atrás citado, encontram-se os valores da função $\left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}}\right)$ para diferentes valores da relação $\frac{z}{z_0}$. Podemos então preencher o seguinte quadro:

z [m]	z/z_0	$1 - e^{-\frac{z}{z_0}}$	q [ton/m²]
4,0	0,59	0,45	1,0
8,0	1,18	0,69	1,5
12,0	1,76	0,83	1.8
16,0	2,35	0,91	2,0
20,0	2,94	0,96	2,1

7 — Representação gráfica: (Fig. 3)

— diagrama das impulsões q nas paredes do silo.

- - - - diagrama envolvente a considerar no cálculo.

A 12,00 m de profundidade a impulsão q já atingiu mais de 80 % do seu valor máximo:

$$1{,}8 : 2{,}2 = 0{,}82 .$$

8 — Pressão vertical máxima

Entre as pressões vertical e horizontal máximas existe a seguinte relação:

$$p_{máx} = \frac{1}{k_1} q_{máx}$$

Substituindo valores:

$$p_{máx} = \frac{1}{0{,}406} \times 2{,}2 = 5{,}4 \text{ ton/m}^2$$

9 — Cálculo das paredes (Acções horizontais)

Para este cálculo vamos considerar as paredes das células do silo divididas em troços de 4,00 m de altura, nos quais se considerará a impulsão exercida pelos materiais ensilados como uniforme e tendo por valor o que cor-

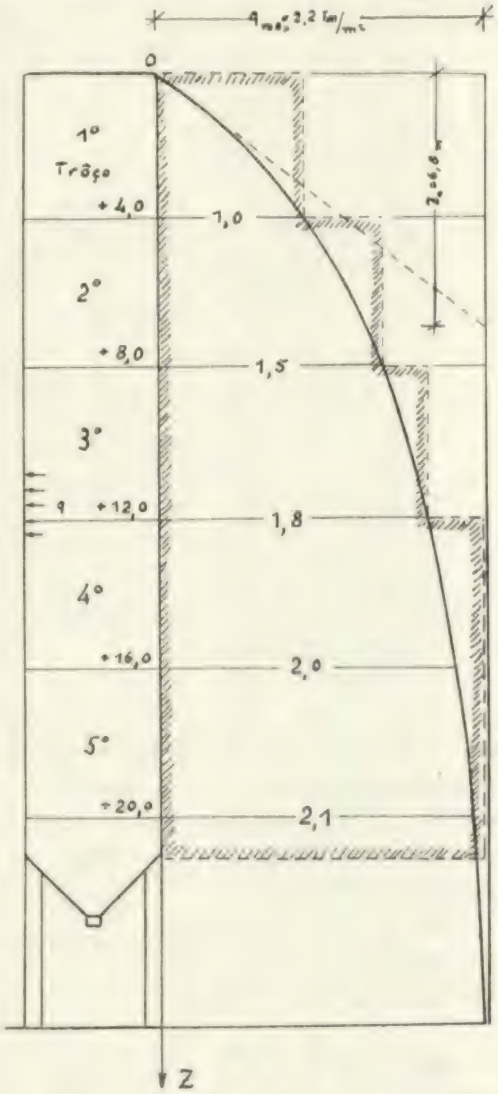


Fig. 3

responde à base do respectivo troço (vidé representação gráfica).

Para o cálculo dos momentos máximos utilizamos a tabela XV do livro de Arcangeli atrás citado.

Adoptando a mesma notação que o autor teremos (fig. 4):

M_{AB} — momento no canto A pertencente à parede AB

M_{BA} — momento no canto B pertencente à parede AB

m_{AB} — momento no tramo correspondente à parede AB

É de notar que na tabela atrás referida a convenção sobre o sinal dos momentos flectores é contrária à que é habitual utilizar no

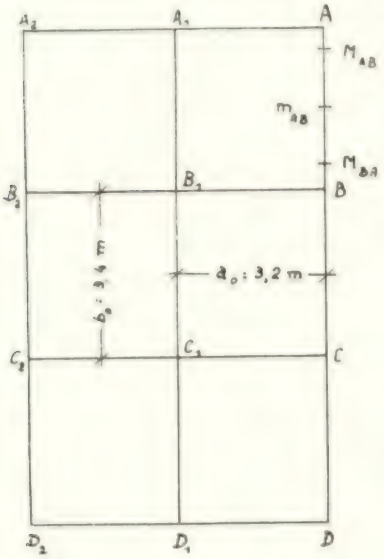


Fig. 4

nosso Instituto. Por este facto os momentos aparecem geralmente com o sinal (+) nos cantos e com o sinal (—) nos tramos.

Para a determinação dos momentos interessa considerar a relação:

$\lambda = \frac{b_0}{a_0}$ sendo a_0 e b_0 os dois lados da secção transversal das células.

No caso presente é $a_0 = 3{,}2$ e $b_0 = 3{,}4$ e portanto $\lambda = 1{,}06$. No entanto como vamos empregar esquadros na ligação das diferentes paredes verticais, o que, como se sabe, introduz um erro na avaliação dos momentos, utilizaremos por simplicidade para λ o valor $\lambda' = 1$.

Os momentos indicados na tabela devem ser multiplicados por "$q\ a_0^2$", sendo q a impulsão à profundidade considerada, e só são válidos para a *hipótese de todas as paredes do silo terem o mesmo peso elástico.* Estes momentos foram deduzidos para as hipóteses de carga mais desfavoráveis e são portanto os valores a considerar no cálculo das paredes.

De harmonia com estas considerações, podemos preencher o seguinte quadro:

10 — Momentos máximos (para $q\ a_0^2 = 1$)

Momentos		Exactos ($\lambda = b_0/a_0$)	Aproximados ($\lambda = 1$)
Nos cantos	M_{AB}	$+0{,}04907\ (1+\lambda^2)$ $-0{,}00031\ (1+\lambda^2)$	$+0{,}098$ $-0{,}001$
	M_{BA}	$-0{,}01923 + 0{,}11263\lambda^2$	$+0{,}093$
	M_{BC}	$+0{,}09799\lambda^2$	$+0{,}098$
	M_{A_1A}	$-0{,}11263 - 0{,}01923\lambda^2$	$+0{,}093$
	$M_{A_1B_1}$	$\pm(0{,}02152 + 0{,}07729\lambda^2)$	$\pm 0{,}099$
	$M_{B_1A_1}$	$\pm(0{,}03804 + 0{,}05258\lambda^2)$	$\pm 0{,}091$
	$M_{B_1C_1}$	$\pm(0{,}03477 + 0{,}05661\lambda^2)$	$\pm 0{,}091$
	M_{BB_1}	$\pm(0{,}07729 + 0{,}02152\lambda^2)$	$\pm 0{,}099$
	M_{B_1B}	$\pm(0{,}05258 + 0{,}03804\lambda^2)$	$\pm 0{,}091$
Nos tramos	m_{AB}	$+0{,}06598 - 0{,}09023\lambda^2$ $-0{,}01739 + 0{,}01770\lambda^2$	$-0{,}024$ $+0{,}000$
	m_{BC}	$+0{,}02299 - 0{,}05357\lambda^2$ $-0{,}02299 + 0{,}02272\lambda^2$	$-0{,}031$ $-0{,}000$
	m_{AA_1}	$-0{,}09023 + 0{,}06598\lambda^2$ $+0{,}01770 - 0{,}01739\lambda^2$	$-0{,}024$ $+0{,}000$
	m^{int}_{long}	$\pm(0{,}03477 - 0{,}06667\lambda^2)$	$\pm 0{,}032$
	m^{int}_{trns}	$\pm(0{,}06667 - 0{,}03477\lambda^2)$	$\pm 0{,}032$

11 — Conclusão

Do exame do quadro anterior e em virtude das células terem em planta uma forma quase quadrada ($3{,}2 \times 3{,}4$ m), vemos que o valor do momento nos cantos de qualquer das células do silo varia entre os valores 0,091 e 0,099; para os momentos nos tramos estes valores são 0,024 e 0,032.

Por uma questão de simplicidade de cálculo, de segurança e de facilidade de execução da obra vamos adoptar para o cálculo de todas as paredes os seguintes valores aproximados:

momentos nos cantos $M = \frac{1}{10} q\, a_0^2$

momentos nos tramos $m = \frac{1}{24} q\, a_0^2$

Aliás o valor adoptado para m constitui imposição do R. P. B. A. no seu artigo 33.º

É de notar que nas paredes das células se devem também considerar os esforços de tracção provenientes das suas reacções de apoio. As paredes trabalham pois, na realidade, à flexão composta.

Em virtude da forma quase quadrada das células, adoptaremos para as paredes longitudinais e transversais a mesma espessura. Está assim automàticamente satisfeita a condição antes indicada a propósito da determinação dos momentos flectores máximos, de as paredes do silo deverem ter o mesmo «peso elástico» nos dois sentidos ortogonais.

Conhecidos os momentos máximos e feitas estas hipóteses podemos calcular as espessuras das paredes nos diferentes troços fictícios em que se supôs decomposto o silo.

12 — Fadigas adoptadas

Para não obtermos espessuras muito pequenas para as paredes, que bastante dificultariam a colocação das armaduras e a boa betonagem, vamos utilizar para o betão uma carga de segurança baixa, que permitirá simultaneamente poupar o aço.

Adoptamos, assim, para cargas de segurança do betão e do aço:

$R'_b = 40$ kg/cm²
$R_a = 1.200$ kg/cm².

13 — Hipóteses simplificadoras

Se bem que as paredes, como já dissemos, trabalhem na realidade à flexão composta, vamos calculá-las como sujeitas separadamente à acção do respectivo momento flector em flexão simples, e do esforço de tracção proveniente das suas reacções de apoio.

O erro que daqui advém é pequeno, pois a excentricidade das cargas é grande e a espessura das paredes diminuta, e no entanto a economia de tempo nos cálculos torna-se apreciável.

Os esforços de tracção a considerar para o cálculo das paredes e para uma altura de 1,0 m são os seguintes:

$$N_b = \frac{q.\, a_0}{2} \quad e \quad N_a = \frac{q.\, b_0}{2}$$

mas como $a_0 \approx b_0 = 3{,}4$ m tomamos indistintamente para qualquer dos dois sentidos ortogonais o valor $N = N_a$.

14 — Simplificações

A altura útil (neste caso é a espessura útil da parede) é obtida a partir da conhecida expressão:

$$h = \beta \sqrt{\frac{M}{b}}$$

h — altura útil em cm
$\beta \approx 0{,}4$ (para $R'_b = 40$ kg/cm² e $R_a = 1.200$ kg/cm²)
M — momento flector em kg × cm
b — largura da peça em cm.

Como vamos fazer o cálculo por faixas de 1,0 m, b = 100 cm e será pois:

$$\boxed{h = 0{,}04 \sqrt{M}}$$

h — em cm
M — em kg × cm.

Mediante esta fórmula calcularemos a espessura das paredes nos diferentes troços em que se considerou dividido o silo.

15 — Espessuras das paredes

1.º troço: $z_1 = 4{,}0$ m $\quad q_1 = 1{,}0$ ton/m²

a) No canto

1 — Momento flector

$$M_1 = \frac{q_1\, a_0^2}{10} = \frac{1{,}0 \times \overline{3{,}2}^2}{10} = 1{,}02 \text{ ton} \times \text{m} =$$

$$= 10{,}2 \times 10^4 \text{ ks} \times \text{cm}$$

2 — Altura útil

$$h_1 = 0{,}04\sqrt{M_1} = 0{,}04 \times 10^2\sqrt{10{,}2} = 12{,}8 \text{ cm}$$

b) No tramo

1 — Momento flector

$$m_1 = \frac{q_1 a_0^2}{24} = \frac{1{,}0 \times \overline{3{,}2}^2}{24} = 0{,}426 \text{ ton} \times \text{m} =$$
$$= 4{,}26 \times 10^4 \text{ ks} \times \text{cm}$$

2 — Altura útil

$$h'_1 = 0{,}04\sqrt{m_1} = 0{,}04 \times 10^2\sqrt{4{,}26} = 8{,}3 \text{ cm}$$

Procedendo anàlogamente para os restantes troços, obtemos:

2.º troço: $z_2 = 8{,}0$ m $q_2 = 1{,}5$ ton/m²

$h_2 = 15{,}7$ cm $h'_2 = 10{,}2$ cm

3.º troço: $z_3 = 12{,}0$ m $q_3 = 1{,}8$ ton/m²

$h_3 = 17{,}2$ cm $h'_3 = 11{,}1$ cm

4.º e 5.º troços: $z_4 > 16{,}0$ m $q_4 = 2{,}2$ ton/m²

$h_4 = 19{,}0$ cm $h'_4 = 12{,}3$ cm

Nas colunas do quadro a seguir estão inscritas as alturas teóricas atrás calculadas e com base nestas, as alturas úteis e totais em obra, para se obterem facilidades na execução da cofragem. As alturas totais, obtem-se a partir das úteis respectivas, juntando-lhes 2 cm correspondentes à camada de recobrimento.

Quadro das espessuras das paredes

Profundidade z [m]	Espessuras [cm]					
	No canto			A meio		
	Teórica h	Em obra hr	Total H	Teórica h'	Em obra h'r	Total H'
0	0	11	13	0	8	10
4	12,8	14	16	8,3	10	12
8	15,7	17	19	10,2	12	14
12	17,2	20	22	11,1	14	16
16	19,0	20	22	12,3	14	16
20	19,0	20	22	12,3	14	16

16 — Cálculo das armaduras das paredes

Em virtude das alturas a empregar em obra serem superiores às teóricas necessárias haverá uma economia nas secções de aço.

Vale portanto a pena calcular estas a partir da expressão:

$$A_a = \frac{\gamma \cdot b \cdot h_r}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{R_a} \text{ [cm²/ml]}$$

[b — largura da peça (1,0 m)]

O valor de γ a utilizar deverá corresponder (Vide tabelas para o cálculo do betão armado do Eng. Vasco Costa) ao de:

$$\delta = \frac{M}{b \cdot h_r^2}$$

A armadura A_a será colocada simètricamente em todas as paredes interiores, visto poderem ter carga dum ou doutro lado.

Nas paredes de bordadura colocaremos a armadura A_a na face tendida devido à acção do momento flector e na face oposta, apenas a armadura $\frac{1}{2} \cdot \frac{N}{R_a}$.

Nota: o valor de A_a não é inteiramente correcto, pois, embora se trate de flexão composta, estamos a calcular as paredes como estando submetidas separadamente à acção do momento M e do esforço de tracção N.

17 — Substituição de valores

Consideremos então a expressão:

$$A_a = \frac{\gamma \cdot b \cdot h_r}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{R_a}$$

em que

$$N = \frac{q \cdot b_0}{2}$$

Como vamos fazer o cálculo por faixas de 1,0 m, tem-se b = 100 cm. Por outro lado

$R_a = 1.200$ kg/cm² e $b_0 = 3{,}4$ m .

Substituindo valores, teremos:

$$A_a = \gamma . h_r + \frac{1}{2} . \frac{q \times 3{,}4}{2 \times 1{,}2} \quad \text{ou}$$

$$\boxed{A_a = \gamma . h_r + 0{,}71\ q} \quad [cm^2/m.\ l.]$$

h_r — em cm
q — em ton/m² .

Esta fórmula permite calcular a armadura das paredes, nos diferentes troços em que considerámos dividido o silo.

18 — Armaduras das paredes

1.º troço: $z_1 = 4{,}0$ m $q_1 = 1{,}0$ ton/m²

a) No canto

$$\begin{cases} M_1 = 10{,}2 \times 10^5 \text{ kg} \times \text{cm} \\ h_{r_1} = 14 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\delta_1 = \frac{M_1}{b\ h^2_{r_1}} = \frac{10{,}2 \times 10^5}{100 \times 14^2} = 5{,}20$$

Pela tabela V (Vasco Costa):

$R_{b_1} = 37$ kg/cm² e $\gamma_1 = 0{,}48$

Armadura

$$A_{a_1} = \gamma_1 h_{r_1} + 0{,}71\ q_1 = 0{,}48 \times 14 + 0{,}71 \times 1{,}0 = 6{,}7 + 0{,}7 = 7{,}4 \text{ cm}^2/\text{m. l.}$$

b) No tramo

$$\begin{cases} m_1 = 4{,}26 \times 10^4 \text{ kg} \times \text{cm} \\ h'_{r_1} = 10 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\delta'_1 = \frac{m_1}{b\ h'^2_{r_1}} = \frac{4{,}26 \times 10^4}{100 \times 10^2} = 4{,}26$$

Pela tabela V (Vasco Costa)

$R'_{b_1} = 33$ ks/m² e $\gamma'_1 = 0{,}40$

Armadura

$$A'_{a_1} = \gamma'_1 b'_{r_1} + 0{,}71\ q_1 = 0{,}40 \times 10 + 0{,}71 \times 1{,}0 = 4{,}0 + 0{,}7 = 4{,}7 \text{ cm}^2/\text{m. l.}$$

Precedendo anàlogamente para os restantes troços, obtemos:

2.º troço: $z_2 = 8{,}0$m $q_2 = 1{,}5$ ton/m²
$A_{a_2} = 9{,}6$ cm²/m. l. $A'_{a_2} = 5{,}7$ cm²/m. l.

3.º troço: $z_3 = 12{,}0$ m $q_3 = 1{,}8$ ton/m²
$A_{a_3} = 10{,}1$ cm²/m. l. $A'_{a_3} = 6{,}3$ cm²/m. l.

4.º e 5.º troços: $z_4 > 16{,}0$ m $q_4 = 2{,}2$ ton/m²
$A_{a_4} = 12{,}2$ cm²/m. l. $A'_{a_4} = 7{,}7$ cm²/m. l.

Reunimos os resultados deste cálculo das armaduras das paredes no seguinte quadro:

Quadro das armaduras das paredes

Troço	Armaduras [cm²/m. l.]	
	No canto	A meio
0 — 4	7,4	4,7
4 — 8	9,6	5,7
8 — 12	10,1	6,3
12 — 16	12,2	7,7
16 — 20	12,2	7,7

19 — Cálculo das paredes (Acções verticais)

(vidé alinea 9)

Para este cálculo vamos seguir o método especial adoptado pelo professor Arcangeli no seu livro *já várias vezes citado,* na página 341, pois, como se sabe, a conhecida expressão geral da flexão não é aplicável a uma peça prismática de grande altura e pequeno vão, tal como é o caso das paredes dos silos.

Em primeiro lugar temos a considerar as seguintes acções verticais:

Peso próprio
$0{,}15 \times 21{,}0 \times 2{,}4$ 7,6
Atrito nas 2 faces
$1{,}5 \times 0{,}30 \times 21{,}0 \times 2$ 18,9
Carga sobre as tremonhas
$5{,}4 \times 3{,}2$ 17,3
$p_1 = 43{,}8$ ton/m.l.

Nota: Os valores numéricos acima correspondem a:

0,15 m → espessura média das paredes
21,0 m → altura do silo
2,4 ton/m³ → peso específico do silo
1,5 ton/m² → pressão horizontal média
0,30 → coeficiente de atrito
5,4 ton/m² → pressão vertical máxima

SECÇÃO MÉDIA

$y/b_0 = 0{,}000$	$\bar{\sigma}_x = +1{,}000\ p_1$
0,125	+ 0,270
0,250	— 0,112
0,375	— 0,195
0,500	— 0,158
0,625	— 0,104
0,750	— 0,061
0,875	— 0,034
1.000	— 0,018

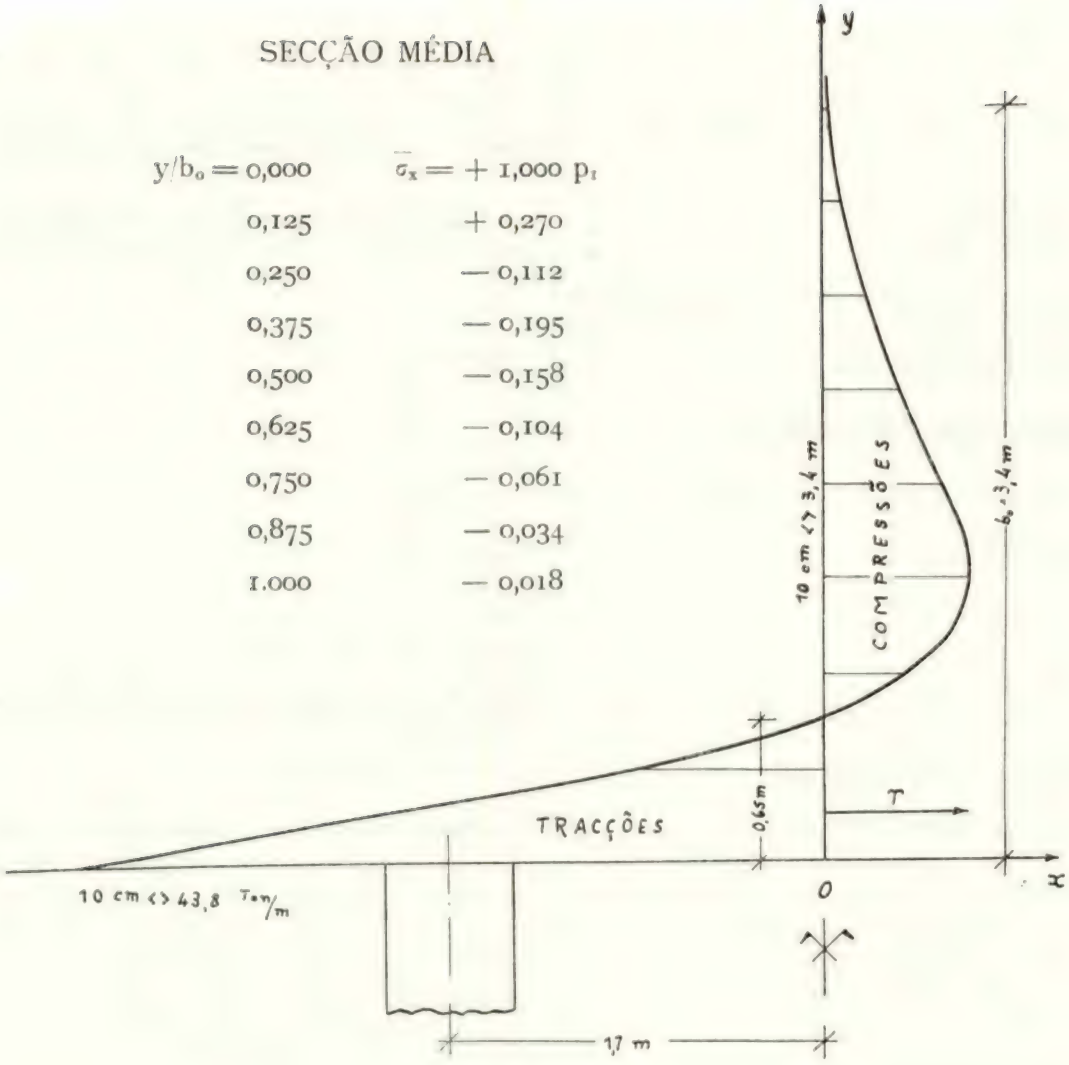


Fig. 5

3,2 m → largura da parede do silo no sentido do menor vão.

O vão teórico das paredes maiores é:

$$b_0 = 3{,}4 \text{ m}$$

Para largura dos pilares admitamos o valor:

$$c = 0{,}6 \text{ m}$$

Deste modo, a relação

$$\varepsilon = \frac{c}{b_0} \quad \text{será:} \quad \frac{0{,}6}{3{,}4} \approx \frac{1}{5}$$

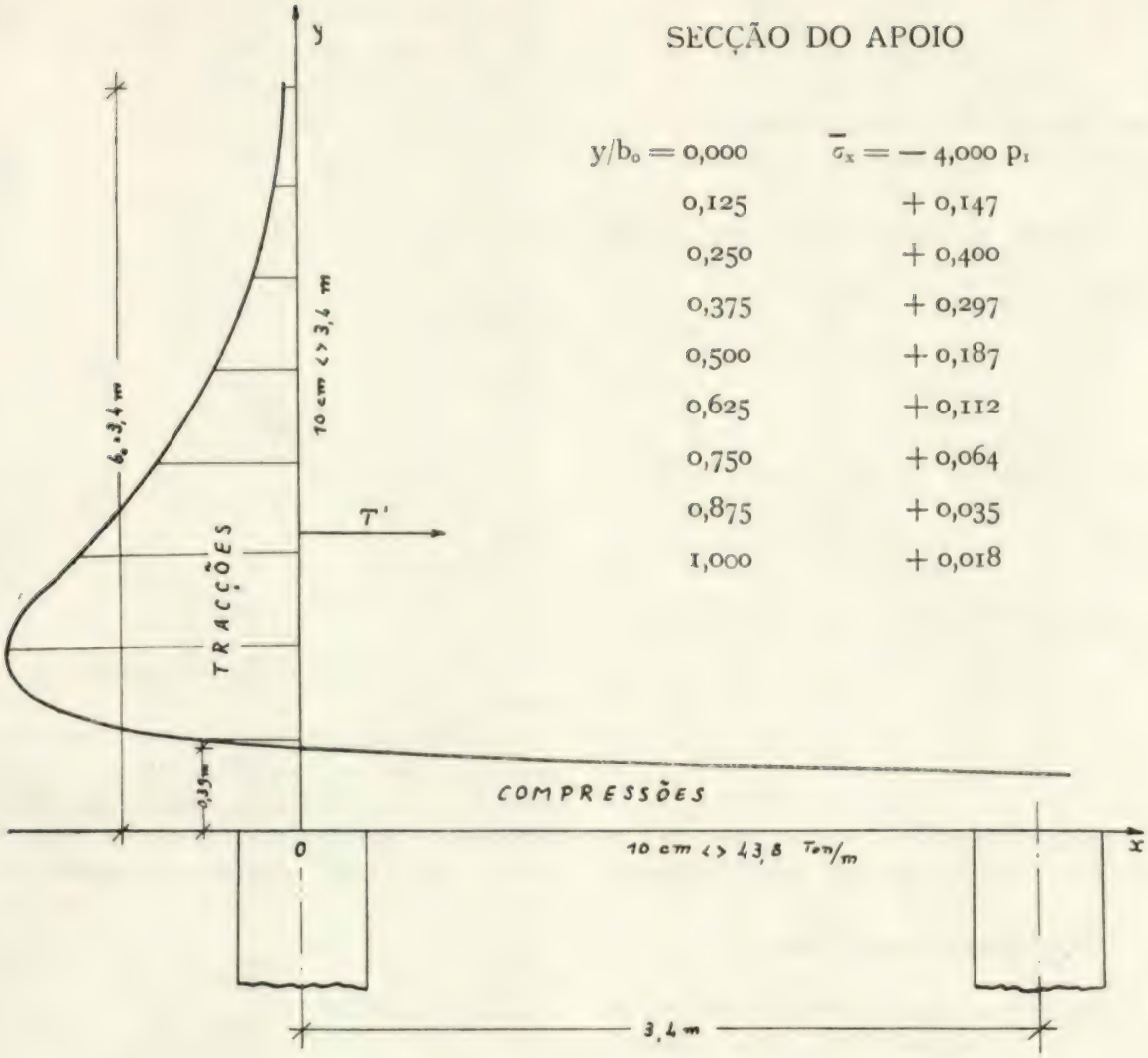
A partir da tabela IX (Arcangeli, pág. 236) e para uma relação $l/b_0 = \infty$ sendo l a altura da parede do silo e b_0 o vão maior, obtemos os coeficientes que multiplicados pela carga vertical p_1 fornecem o diagrama das tensões nas secções média e do apoio da parede do silo.

Da figura 15 conclui-se que o esforço total de tracção T se distribui numa altura de 0,65 m e tem por valor, aproximadamente:

$$T = \frac{1}{2} \times 0{,}65 \times 1{,}000 \times 43{,}8 \approx 14{,}0 \text{ ton.}$$

Para resistir a este esforço será necessário uma armadura de

$$A_a = \frac{T}{R_a} = \frac{14.000}{1.200} = 11{,}7 \text{ cm}^2$$



SECÇÃO DO APOIO

y/b_0	$\bar{\sigma}_x$
0,000	$-4{,}000\ p_1$
0,125	$+0{,}147$
0,250	$+0{,}400$
0,375	$+0{,}297$
0,500	$+0{,}187$
0,625	$+0{,}112$
0,750	$+0{,}064$
0,875	$+0{,}035$
1,000	$+0{,}018$

Fig. 6

Da figura 5 também se conclui que a tensão máxima de compressão se verifica a uma altura de 1,3 m a partir da base da parede e tem por valor:

$$\bar{\sigma}_x = -0{,}195 \times 43{,}8 = -8{,}5 \text{ ton/m}$$

ou seja

$$R'_b = \frac{8.500}{100 \times 16} = 5{,}3 \text{ kg/cm}^2$$

visto que a parede do silo, a meio e à profundidade considerada, tem uma espessura de 16 cm.

Procedendo anàlogamente para a secção correspondente ao meio do apoio teremos:

Da figura 6 conclui-se que o esforço total de tracção T' se distribui numa altura de aproximadamente 3,00 e tem por valor:

$$T' = 22 \text{ ton (por integração gráfica)}$$

Para resistir a este esforço será necessária uma armadura de:

$$A'_a = \frac{T'}{R_a} = \frac{22.000}{1.400} = 18{,}3 \text{ cm}^2$$

A tensão máxima de compressão, na base da parede, aonde a espessura é de 22 cm, terá por valor:

$$R'_b = \frac{4{,}000 \times 43{,}8}{100 \times 22} = 80 \text{ kg/cm}^2$$

Este valor mostra a necessidade de reforçar convenientemente as paredes nesta zona.

20 — Fadiga de corte, junto do apoio

Esforço transverso máximo:

$$Q = \frac{p_1 (b_0 - c)}{2} = \frac{43{,}8 \times 2{,}8}{2} = 61 \text{ ton}$$

Área da secção vertical, junto do apoio

$$A = 12{,}0 \times (0{,}13 + 0{,}22) \frac{1}{2} + 10{,}0 \times 0{,}22 =$$

$$= 2{,}10 + 2{,}20 = 4{,}30 \text{ m}^2 = 4{,}3 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

Valor por defeito de fadiga ao corte:

$$t = \frac{Q}{A} = \frac{61 \times 10^3}{4{,}3 \times 10^4} = 1{,}4 \text{ kg/cm}^2$$

Nota: Este valor de t não é mais do que uma primeira aproximação muito grosseira.

21 — Cálculo das tremonhas

O cálculo exacto das tremonhas é impossível ou pelo menos muito difícil, dada a grande dificuldade na determinação dos momentos flectores. É certamente por esta razão que cada autor apresenta o seu método próprio de cálculo.

Pela sua simplicidade adoptamos o método indicado pelo professor Arcangeli («Le costruzioni in cemento armato», pág. 333).

22 — Hipóteses cálculo

Como já vimos atrás é:

$$q = q_{máx} \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}}\right)$$

e

$$p = \frac{1}{k_1} \cdot q$$

Esta pressão vertical p exerce-se sobre o fundo da tremonha.

Perpendicularmente às paredes da tremonha, inclinadas de um ângulo α sobre a horizontal, exerce-se uma pressão:

$$p_n = (p + p_0) \cos^2 \alpha + q \operatorname{sen}^2 \alpha$$

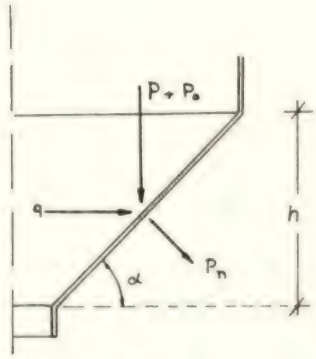


Fig. 7

em que p_0 é o peso próprio da parede da tremonha.

Consideremos um troço da tremonha limitado por duas secções horizontais, como isolado do resto. Obteremos assim um sistema submetido a uma pressão interior p_n que originará esforços de tracção e momentos flectores.

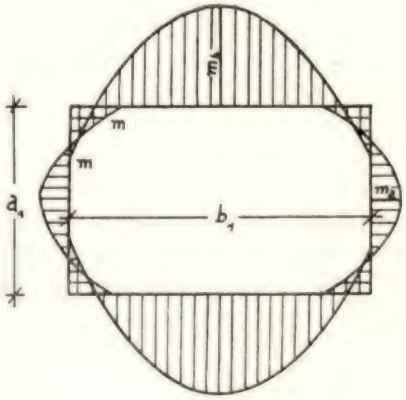


Fig. 8

Se todas as paredes da tremonha tiverem o mesmo peso elástico, teremos que:

$$m = \frac{1}{24} p_n a_1^2 (1 + \lambda_1^2)$$

$$m_n = -\frac{1}{8} p_n a_1^2 + m$$

$$m_b = -\frac{1}{8}\, p_n\, b_1^2 + m$$

em que $\lambda_1 = \frac{b_1}{a_1}$ e:

m — momento no canto da tremonha
m_a — » a meio do lado a_1
m_b — » » » » » b_1

Os esforços de tracção nos lados a_1 e b_1 são respectivamente:

$$N_a = \frac{1}{2}\, p_n\, b_1$$

$$N_b = \frac{1}{2}\, p_n\, a_1$$

Dever-se-á também considerar um esforço de tracção, segundo o maior declive da parede da tremonha e tendo por valor:

$$N_1 = (p + p_0) \cdot h$$

23 — Substituição de valores

Adoptemos para valor do ângulo de inclinação das paredes da tremonha $\alpha = 45^\circ$ e para peso próprio, para uma espessura de 20 cm:

$$p_0 = 0{,}20 \times 2{,}4 \simeq 0{,}5 \text{ ton/m}^2$$

Pressão normal sobre a parede:

$$p_n = (5{,}4 + 0{,}5 + 2{,}2)\,\frac{1}{2} = 4{,}1 \text{ ton/m}^2$$

visto que:

$$\cos^2 45 = \text{sen}^2\, 45 = \frac{1}{2}$$

$p \simeq p$ máx $= 5{,}4$ ton/m²
$q \simeq q$ máx $= 2{,}2$ ton/m²

Considerando o troço mais alto da tremonha de lados $\simeq 3{,}2 \times 3{,}0$ m, tem-se:

$$m = \frac{1}{24} \times 4{,}1 \times \overline{3{,}0}^2 \left(1 + \frac{\overline{3{,}2}^2}{\overline{3{,}0}^2}\right) =$$

$$= \frac{4{,}1 \times 9{,}0 \times 2{,}14}{24} = 3{,}3 \text{ ton} \times \text{m}$$

$$m_a = -\frac{1}{8} \times 4{,}1 \times \overline{3{,}0}^2 + 3{,}3 =$$

$$= -4{,}6 + 3{,}3 = -1{,}3 \text{ ton} \times \text{m}$$

$$m_b = -\frac{1}{8} + 4{,}1 \times \overline{3{,}2}^2 + 3{,}3 =$$

$$= -5{,}3 + 3{,}3 = -2{,}0 \text{ ton} \times \text{m}$$

$$N_a = \frac{1}{2} \times 4{,}1 \times 3{,}2 = 6{,}6 \text{ ton/m. l.}$$

$$N_b = \frac{1}{2} \times 4{,}1 \times 3{,}0 = 6{,}2 \text{ ton/m. l.}$$

$$N_1 = (5{,}4 + 0{,}5) \times 1{,}5 = 9{,}0 \text{ ton/m. l.}$$

24 — Cálculo das paredes da tremonha

a) No canto $m = 3{,}3$ ton × m.

Adoptamos a mesma espessura da parede vertical, na sua parte inferior:

$H = 22$ cm ∴ $h_r = 20$ cm.

Verificação da fadiga do betão:

$$\delta = \frac{m}{b\, h_1^2} = \frac{33 \times 10^4}{100 \times 20^2} = 8{,}5\,.$$

Pela tabela V (Vasco Costa):

$R'_b = 50$ kg/cm² e $\gamma = 0{,}8$.

Armadura necessária:

$$A_a = \gamma \cdot h_1 + \frac{N_a}{2\, R_a} = 0{,}8 \times 20 + \frac{6.600}{2 \times 1.200} =$$

$$= 16{,}0 + 2{,}8 = 18{,}8 \text{ cm}^2/\text{m. l.}$$

b) No tramo $m_a \simeq m_b = -2{,}0$ ton/m.
Adoptamos também a mesma espessura da parede vertical, na parte inferior:

$H' = 16$ cm ∴ $h'_r = 14$ cm

Verificação da fadiga do betão:

$$\delta' = \frac{20 \times 10^4}{100 \times 14^2} = 10{,}2$$

Pela tabela V (Vasco Costa):

$R'_b = 57$ kg/cm² e $\gamma = 0{,}98$

Armadura necessária:

$$A'_a = 0{,}98 \times 14 + \frac{6.600}{2 \times 1.200} =$$

$$= 13{,}7 + 2{,}8 = 16{,}5 \text{ cm}^2/\text{m. l.}$$

Nota:

1 — A espessura das paredes da tremonha e as respectivas armaduras podem diminuir-se à medida que nos aproximarmos da boca de descarga.

2 — A armadura A_a e A'_a serão colocadas nas faces tendidas devido à acção do momento flector, colocando-se apenas na face oposta a armadura $\frac{N_a}{2\,R_a} = 2{,}8$ cm²/m. l.

3 — Segundo o maior declive das paredes da tremonha, para nos opormos à acção do esforço de tracção N_1 será necessário colocar a armadura:

$$\frac{N_1}{R_a} = \frac{9.000}{1.200} = 7{,}5 \text{ cm}^2/\text{m. l.}$$

(Continua)

Triplicação estática de frequência, obtendo um sistema trifásico simétrico

POR ARMANDO PEREIRA DOS REIS MIRANDA

(Do curso de Engenharia Electrotécnica)

C. D. 621.354

Introdução

Para a alimentação de um motor síncrono [1] para velocidades variáveis até 25.000 rot/m. tinha-se previsto a construção de um sistema electrónico (oscilador e amplificador de potência), que, dada a corrente elevada exigida, ($\sim$ 12 A), ficaria extremamente caro.

Como o sistema electrónico nos forneceria uma corrente monofásica, era necessário alimentar o motor a partir de três ramos em paralelo, um com uma bobina em série, de modo a atrasar a corrente de 60°, outro com um condensador igualmente em série para avançar a corrente de 60° e finalmente o terceiro sem bobina nem condensador.

Se a primeira parte do problema envolve uma solução dispendiosa, a segunda parte envolve uma solução cuja complicação aumenta à medida que se vai detalhando e analisando com cuidado porque:

1.° — A frequência de alimentação do motor deve poder variar ràpidamente.

2.° — A potência do motor varia conforme as solicitações de uma maneira por hipótese arbitrária.

3.° — As operações poderão não ser dirigidas por electrotécnicos.

Destas três imposições resultam os inconvenientes:

1.° — A indutância e capacitância desafinam-se automàticamente, e em sentidos inversos, quando a frequência varia.

2.° — As desfasagens das correntes desafinam-se automàticamente quando a potência e velocidade do motor variam.

3.° — Todas as complicações exageradas poderão falsear os resultados dos ensaios, que exigirão, pelo menos, muito tempo e trabalho para o ajuste.

A estes inconvenientes acresce que:

4.° — Para que o motor não seja atacado por tensões diferentes, tem que se colocar uma resistência em série com o ramo não reactivo, o que é inconveniente porque, além de representar uma queda no rendimento, provoca um desequilíbrio.

5.° — Tanto a bobina, como o condensador e a resistência, em série nos três ramos, têm de ser variáveis.

6.° — Como, na realidade, não temos um sistema trifásico, mas sim três fases consecutivas de um sistema hexafásico (das quais a central tem, no motor, o sentido invertido), temos que usar um fio para dar saida à soma das três correntes.

7.° — A verificação do equilíbrio, em grandeza e desfasagem dos sistemas de tensões e correntes, além de complicado, exige muita aparelhagem de medida.

A alimentação do motor apresentava-se portanto pouco auspiciosa.

Para combater estes inconvenientes foram-se-me sugerindo sucessivamente as seguintes soluções:

1.° — Substituir a bobina e o condensador variáveis por circuitos oscilantes, um afinado para uma frequência mais alta e outro para uma frequência mais baixa que a de alimentação. Poder-se-ia conjugar o movimento das placas dos condensadores destes circuitos oscilantes com o do con-

[1] Motor síncrono de 200 W para ensaiar modelos reduzidos de aviões no túnel aerodinâmico.

densador do oscilador de modo a obter simultaneidade de comando.

2.º — Graças a um artifício, reduzir a frequência de alimentação do motor a metade daquela que dá, para velocidade de sincronismo, a requerida.

(Na primeira oportunidade, abordarei o assunto em artigo ulterior).

3.º — Em vista da redução de frequência acima indicada, utilizar a triplicação de frequência fornecida pelo conjunto de três transformadores monofásicos, com os primários em estrela e os secundários em triângulo aberto, para alimentar o motor.

A vantagem obtida pelo conjunto das duas últimas soluções já era muito apreciável porque o preço da aparelhagem para a alimentação do motor vinha extraordinàriamente abatida.

Finalmente, numa quarta e última etapa:

4.º — Obter de um sistema trifásico simétrico outro, de frequência tripla, e igualmente trifásico e simétrico.

Ruiu assim a segunda grande dificuldade!

Esta solução não tem qualquer dos inconvenientes apontados e reune as seguintes vantagens, como se provará no seguimento:

1.º — Embaratece extraordinàriamente o sistema de alimentação do motor.

2.º — Evita a multiplicidade de manobras, que, assim, se reduzem a:

a) Regular a velocidade do alternador (para obter frequências variáveis até 70 H_z), isto é, regular a excitação do motor de corte contínua que acciona o alternador;

b) Regular a excitação do próprio alternador.

Todo o resto é inteiramente automático sem qualquer aparelhagem especial de medida ou comando, nem sequer peças móveis.

3.º — Como o sistema fica trifásico e simétrico é desnecessário o quarto condutor, que devia ter secção dupla da dos outros, o que simplifica o motor.

Solução adoptada

A solução semelha, de certo modo, a do *Ovo de Colombo;* sabemos o seguinte:

1.º — Constroem-se transformadores com desvios angulares de 0°, $\pm 30^o$ e 60° ou 180°.

2.º — Um sistema de três transformadores monofásicos com os secundários em triângulo aberto e com os primários em estrela dá triplicação de frequência.

A associação destas duas propriedades sugeriu-me uma possibilidade de solução.

À segunda permissa acrescentei (e é evidente) que ela continua a ser verdadeira se os primários estiverem ligados em zig-zag.

Depois das primeiras tentativas frustradas ataquei o problema sistemàticamente e obtive a solução seguinte:

Consegue-se o que se pretende com três sistemas de três transformadores monofásicos, em que:

1.º — Um sistema tem desvio angular nulo e dá no secundário uma das fases que se pretende.

2.º — Outro sistema tem um desvio angular de $+ 40^o$, e dá no secundário a segunda fase que se pretende, desfasada da primeira de $3 \times 40^o = 120^o$, visto tratar-se da 3.ª harmónica.

3.º — O terceiro sistema tem um desvio angular de $- 40^o$ o que dá no secundário a terceira fase que se pretende, desfasada da primeira de $- 3 \times 40^o = - 120^o$, como acima.

4.º — Visto que se trata de um sistema trifásico simétrico podem reunir-se os três sistemas de transformadores em estrela (ou em triângulo) e alimentar o receptor trifásico como usualmente.

Os desvios angulares aqui referidos não são os vulgares, mas sim os desvios angulares entre a tensão simples nos primários e a tensão composta (1.ª harmónica) nos secundários; é este desvio angular que interessa neste caso.

Os três sistemas de transformadores são constituídos por unidades como segue:

Primeiro sistema

Este sistema é constituído por três transformadores com ligações estrela-triângulo aberto.

Os esquemas dos enrolamentos e os diagramas da tensões estão representados nas Figs. 1 e 1-*a* e não oferecem qualquer particularidade.

O diagrama das tensões do secundário é dado para a primeira harmónica (neste caso como nos seguintes).

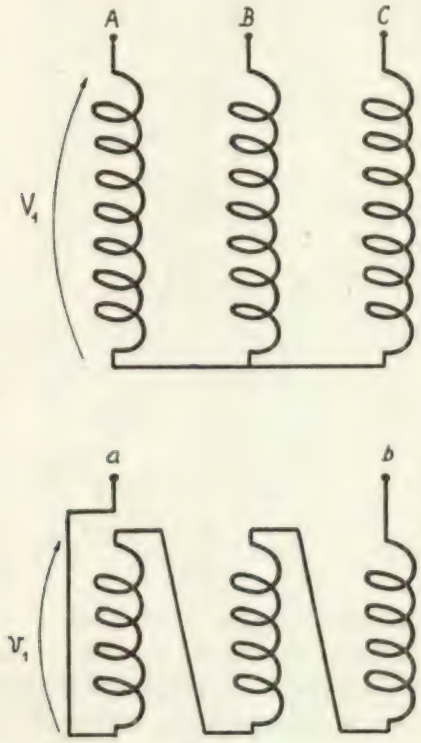


Fig. 1

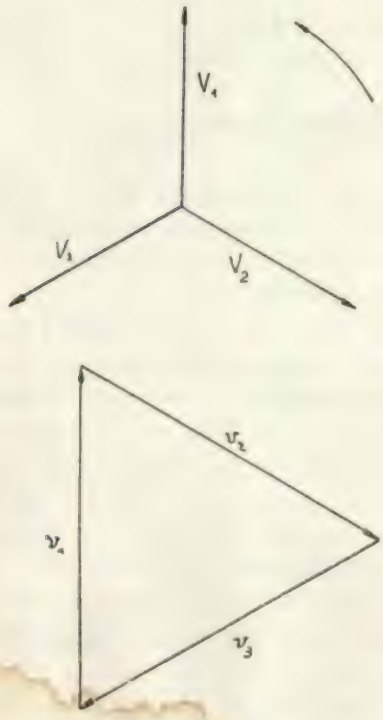


Fig. 1-a

Segundo sistema

Este sistema é constituído por três transformadores monofásicos com ligações zig-zag-triângulo aberto.

O zig-zag usado não é porém o normal mas sim o dos esquemas e diagramas das Figs. 2 e 2-*a*.

Os enrolamentos dos primários em cada transformador são tais que (Ver Fig. 2-*a*):

$$\frac{n'_1}{n''_1} = \frac{\text{sen } 20^\circ}{\text{sen } 40^\circ} \quad \ldots\ldots (1)$$

ou seja

$$\frac{n'_1}{n''_1} = \frac{\text{sen } 20^\circ}{2 \text{ sen } 20^\circ \cos 20^\circ}$$

ou ainda

$$\frac{n'_1}{n''_1} = \frac{1}{2 \cos 20^\circ}$$

donde

$$\frac{n'_1}{n''_1} = \frac{1}{1{,}879386} \sim = \frac{1}{1{,}88} \quad \ldots\ldots (2)$$

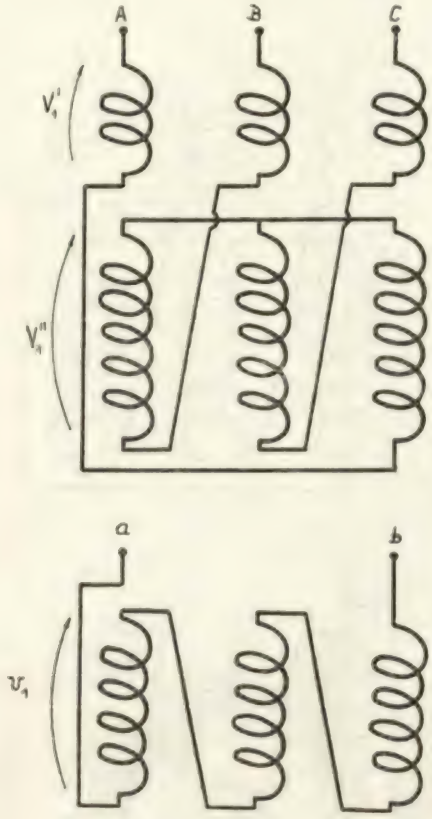


Fig. 2

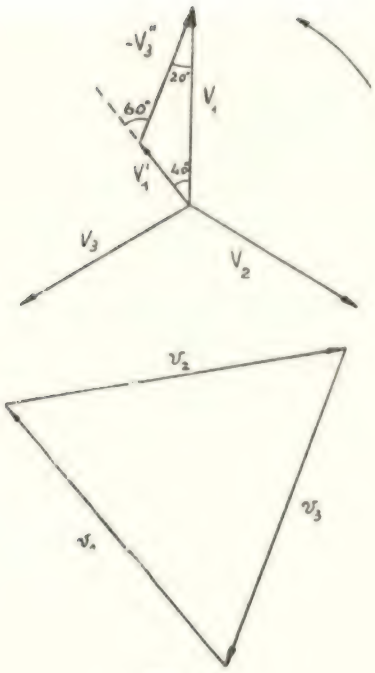


Fig. 2-a

Terceiro sistema

Este sistema é precisamente igual ao anterior com a única diferença que o zig-zag fica ligado de outra forma como consta das Figs. *3* e *3-a*.

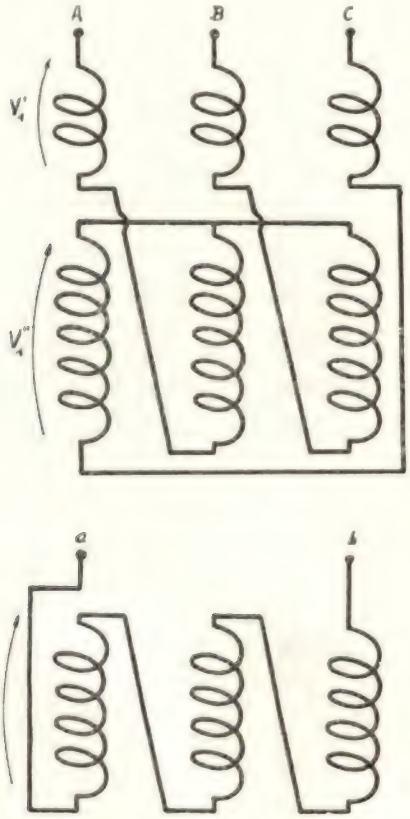


Fig. 3

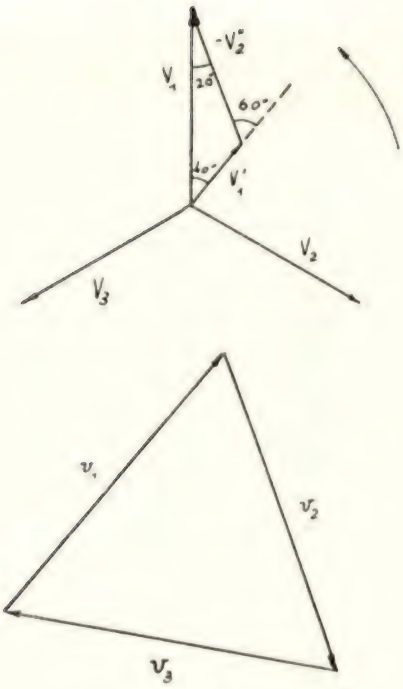


Fig. 3-a

Este sistema tem a vantagem de evitar todo o sistema de desvio de fases anteriormente indispensável, e, embora à primeira vista se possa achar que, o facto de serem necessários nove transformadores, representa um encargo grande, não é assim, porque a potência total instalada não varia, apenas os transformadores vêm mais pequenos o que ainda é vantajoso.

Cálculo dos transformadores

O processo mais seguro de determinar as dimensões e elementos construtivos dos transformadores é o que se basear numa experiência prévia.

As considerações e ideias directivas para adoptar este processo são as seguintes:

1.º — Não sabemos ao certo a forma da curva da F. E. M. que vamos aplicar aos transformadores porque não se pode adoptar a tensão da rede por motivos óbvios (a frequência deve variar de 0 a 70 H_z).

Os alternadores provàvelmente usados serão, ou o do Laboratório de Máquinas Eléctricas, ou o do Centro para Estudos Aeronáuticos.

2.º — É difícil ou impossível obter as características da chapa que há no comércio.

Para fazer o ensaio mais vale ensaiar para o fim que se pretende.

3.º — A chapa deve trabalhar a temperatura elevada de modo que a devemos ensaiar como em regime normal.

A temperatura será elevada em face da indução a adoptar (14.000 a 15.000 graus a que corresponderá cerca de 40 % de terceira harmónica) [1].

4.º — O cálculo directo, a ser praticável, seria trabalhosíssimo e estaria muito mais sujeito a erros porque:

a) Não conheço qualquer trabalho ou artigo que trate da triplicação de frequência para dela tirar potência aproveitável [2]. O assunto foi-me apresentado como curiosa experiência de laboratório.

b) O cálculo da dispersão é difícil e tenho certa relutância em tratar analìticamente, à margem de ensaios, a reacção mútua das bobinas, primária e secundária, visto que as frequências são diferentes e as desfasagens imprevisíveis.

c) A potência absorvida pelo primário, sob a forma de uma potência da primeira harmónica, divide-se nas parcelas seguintes: potência útil no secundário (terceira harmónica), perdas óhmicas no cobre do primário e do secundário, perdas por correntes parasitas no cobre do primário e principalmente do secundário e além disso no ferro do núcleo, finalmente perdas por histeresis no ferro do núcleo.

Um ensaio directo será simples de executar, em aparelhos, por exemplo, do tipo do de Epstein.

A justificação do valor dos resultados de um ensaio reside em que, *para uma dada indução no ferro, a potência transmitida do primário ao secundário é proporcional ao fluxo e, portanto, à secção transversal do núcleo.*

Os ensaios deverão visar o estabelecimento das famílias de curvas necessárias para definir todo o funcionamento do sistema.

[1] Veja-se Gen. Elect. Review Março de 1946. Pág. 60 a 65. Distorção das ondas sinusoidais com a carga.

[2] Apenas encontrei uma pequena referência em Alternating Current Electrical Engineering — Philip Kemp (1943), pág. 483.

A potência desenvolvida no secundário é função de:

$$P_2 = f\,(f_1\, E_1\, R_2) \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

em que

P_2 = potência no secundário
f_1 = frequência de alimentação do primário
E_1 = F. E. M. aplicada ao primário
R_2 = resistência de carga do secundário

São indispensáveis duas famílias de curvas.

$$1.^{\circ} \left\{ \begin{array}{l} P_2 = f\,(E_1) \\ \qquad R_2 \rightarrow \text{parâmetro} \\ \qquad f_1 \rightarrow \text{constante} \end{array} \right.$$

$$2.^{\circ} \left\{ \begin{array}{l} P_2 = f\,(R_2) \\ \qquad f_1 \rightarrow \text{parâmetro} \\ \qquad E_1 \rightarrow \text{constante} \end{array} \right.$$

Para o nosso caso pode ser de extrema utilidade traçar.

$$3.^{\circ} \left\{ \begin{array}{l} P_2 = f\,(f_1) \\ \qquad R_2 \rightarrow \text{parâmetro} \\ \qquad E_1 = \sim K\, f_1 \qquad [1] \end{array} \right.$$

A primeira família de curvas permite-nos ver a potência com que podemos contar para alimentar o motor a velocidade constante.

A segunda família de curvas é fácil de obter e dá sem dificuldade, além das curvas expressas, uma ideia da variação de $P_2 = f\,(f_1)$ para E_1 = const.

A terceira família de curvas dá a variação de P_2 em condições tais que seriam sem dúvida as óptimas para o ensaio do motor no túnel e que, é de crer, sejam possíveis para variações de frequência não muito elevadas.

Além disso deverá procurar medir-se a temperatura do ferro para se estudar o arrefecimento dos tranformadores.

[1] Excitação do alternador invariável.

É absolutamente essencial procurar o comportamento relativo ao cos φ da carga porque o motor é essencialmente indutivo, visto não ter excitação por corrente contínua.

Os transformadores só poderão ser construidos quando o motor já tiver sido ensaiado a partir de um sistema trifásico para frequências menores, provàvelmente até 120 H_2, que se podem obter com o alternador do Centro para Estudos Aeronáuticos.

Só então, com os valores obtidos ou extrapolados, se poderá saber a potência e características dos transformadores. É possível que cada grupo de três transformadores deva dar cerca de 6 A sob 20 a 30 V se o factor de potência se puder manter cerca de 0,7 ou uma corrente maior sob a mesma tensão se o factor de potência for menor.

Note-se que os valores da voltagem indicados se referem à voltagem máxima, isto é à frequência mais elevada. Para frequências mais baixas a potência do motor será menor, variando proporcionalmente à frequência, ou até, no que diz respeito à potência pedida pela hélice, variando com uma potência da frequência superior à unidade.

Em face destes ensaios e considerações o cálculo dos transformadores torna-se fácil e apenas o projecto exigirá cuidados para obter os fins em vista.

Os ensaios finais dos transformadores serão semelhantes aos anteriormente descritos, tratando-se o grupo de nove transformadores como um transformador trifásico.

Interessa verificar o rendimento da transformação e o equilíbrio perfeito de tensões e correntes primárias e secundárias.

Um grupo como este presta-se extraordinàriamente para especulação sobre o fenómeno da triplicação de frequência e é provável que haja imensas conclusões interessantes a fazer em face dos valores obtidos.

Espero poder pròximamente, fornecer aos possíveis interessados alguns elementos, possibilidades e características do motor síncrono que deve ser alimentado por este sistema e, posteriormente, os resultados e conclusões principais dos ensaios do motor e sistema de alimentação, ensaiados separadamente e em bloco.

Sobre o método de aproximações sucessivas de Hardy Cross

JOSÉ QUINTINO ROGADO
(Do Curso de Eng.º de Minas)

C. D. 624.044

Em Março de 1944, J. A. Todd [1] mostrou que o método das aproximações sucessivas devido a Hardy Cross e conhecido como o método de Cross, quando aplicado a uma viga contínua horizontal, conduzia a soluções convergentes em qualquer apoio, e indicou mesmo um limite superior de erro que permitia regular a aproximação do método em problemas práticos.

No que vai seguir-se mostra-se *existir a mesma convergência para qualquer classe de pórticos planos* e indicam-se limites superiores de erro *muito menores do que os de J. A. Todd,* dos quais ele próprio diz: Em problemas práticos os erros reais são em geral consideràvelmente menores do que os dados por estes limites [1].

A demonstração é em parte uma generalização da de Todd.

a) Dado um pórtico pode chamar-se nó de ordem n, A_r^n, ao ponto de concorrência dos eixos de n barras desse pórtico. O número r é arbitrário e depende do modo como foi feita a numeração dos nós.

Por outro lado sejam λ_n^i $(i = 1, 2 \ldots n)$ os *coeficientes de transmissão,* das n barras concorrentes em A_r^n, será, evidentemente

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_r^i = 1 \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

e

$$0 < \lambda_r^i < 1 \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

usando-se em (2) a igualdade da direita apenas quando o nó, sendo de primeira ordem é uma rótula, e a da esquerda quando o nó esteja encastrado.

Quando se supõem todos os A_r^n fixos (sem possibilidade de translações no plano do pórtico, nem de rotações) ao actuarem as cargas, cria-se imediatamente a seguir a A_r^n e na barra α, que aí concorre, um momento m_{ro}^{α} $(\alpha = 1, 2 \ldots n)$. Seja $M_{ro} = \sum_{\alpha} m_{ro}^{\alpha}$ o momento resultante em A_r^n.

Pois bem aplique-se o método de Cross do seguinte modo:

I — Escolha-se uma cadeia *aberta* no interior do pórtico constituída com elementos seus, barras e nós, e numerem-se os nós dessa cadeia. Os coeficientes de transmissão das barras dessa cadeia serão representados por λ_r^1 e λ_r^2 para cada nó; λ_r^1 afecta a barra que liga A_r^n a A_{r-1}^m; λ_r^2 a barra entre A_r^n e A_{r+1}^l.

II — Libertem-se todos os nós pares dessa cadeia (permitam-se-lhes estações apenas), sejam os novos momentos flectores, na vizinhança de A_r^n, m_{r1}^{α} e $M_{r1} = \sum_{\alpha} m_{r1}^{\alpha}$, o novo momento resultante em A_r^n. É evidente que se r é par $Mr_1 \equiv o$.

III — Suponham-se os nós pares fixados em sua posição de equilíbrio e os nós ímpares livres. Os novos momentos na vizinhança de A_r^n serão m_{r2}^{α} e $M_{r2} = \sum_{\alpha} m_{r2}^{\alpha}$ será o momento resultante em A_r^n.

Também é $M_{r2} \equiv o$ ao ser r impar.

IV — Repitam-se alternadamente as operações II e III l vezes. Serão então m_{rl}^{α} os momentos na vizinhança de A_r e $M_{rl} = \sum_{\alpha} m_{r\alpha}$ o momento em A_r; na mesma $M_{rl} \equiv o$, se r e l forem de paridade diferente.

---

[1] John Arthur Todd, *The Moment — Distribution Method; in Journal of the Institution of Civil Engineers;* Março 1944.

Então se A_r^n está livre na operação $l+1$ será

$$m^{\alpha}_{rl+1} = m^{\alpha}_{rl} - \lambda^{\alpha}_{l} M_{rl} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

mas se o contrário sucede, os dois nós consecutivos A^m_{r-1} e A^l_{r+1} da cadeia estão ambos livres e será

$$m^{\alpha}_{rl+1} = m^{\alpha}_{rl} - \frac{1}{2}\lambda^{\beta}_{t} M_{tl} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

apenas com λ^2_{r-1} e λ^1_{r+1} diferentes de zero.

Mas (3) e (4) excluem-se e então pode escrever-se *qualquer que se seja* r

$$m^{\alpha}_{rl+1} = M^{\alpha}_{rl} - \lambda^{\alpha}_{r} M_{rl} - \frac{1}{2}\lambda^{\beta}_{t} M_{tl} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Pois bem, somando em α virá, atendendo a (1)

$$\sum_{\alpha} m^{\alpha}_{rl+1} = M_{rl+1} = -\frac{1}{2}\left(\lambda^2_{r-1} M_{r-1l} + \right.$$
$$\left. + \lambda^1_{r+1} M_{r+1l}\right)$$

e introduzindo M_l igual ao maior dos valores absolutos de M_{rl} em toda a cadeia, tem-se

$$\left|M_{rl+1}\right| < \frac{1}{2}\left(\lambda^2_{r-1} + \lambda^1_{r+1}\right) M_l$$

mas isto verifica-se qualquer que seja r; logo

$$M_{l+1} < \frac{1}{2}\left(\lambda^2_{r-1} + \lambda^1_{r+1}\right) M_l$$

Ora da definição de λ^{α}_{r} resulta que (v. (2))

$$\lambda^2_{r-1} + \lambda^1_{r+1} < 2 \text{ (1)}$$

e portanto

$$\theta = \frac{1}{2}\left(\lambda^2_{r-1} + \lambda^1_{r+1}\right) < 1$$

Quer dizer é

$$M_{l+1} < \theta M_l$$

(1) O caso $\lambda^2_{r-1} + \lambda^2_{r+1} = 2$ corresponde a estar A^n_r entre duas rótulas e então o método de Cross nem sequer pode ser aplicado.

A sucessão M_n *tende para zero com* $\frac{1}{n}$, *a série* $\sum_{l=1}^{\infty} M_l$ *é convergente, porque a progressão aritmética de razão* $\theta < 1$ *é sua majorante e a série* $\sum_{l=1}^{\infty} M_{rl}$ *qualquer que seja* r *é absolutamente convergente.*

Ainda à custa de (5), ao considerar-se apenas as duas barras da cadeia que concorrem em A^n_r, se conclui *serem as séries*

$$\sum_{l=1}^{\infty} (m^1_{rl+1} - m^1_{rl}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

e

$$\sum_{l=1}^{\infty} (m^2_{rl+1} - m^2_{rl}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

absolutamente convergentes qualquer que seja r e as seguintes transformações evidentes

$$\sum_{l=1}^{\infty} (m^1_{rl+1} - m^1_{rl}) =$$
$$\lim_{n\to\infty}\left[\sum_{l=1}^{n} (m^1_{rl+1} - m^1_{rl})\right] =$$
$$= \lim_{n\to\infty} m^1_{rn+1} - m^1_{r1}$$

e anàlogamente

$$\sum_{l=1}^{\infty} (m^2_{rl+1} - m^2_{rl}) = \lim_{n\to\infty} m^2_{rn+1} - m^2_{r1}$$

levam a afirmar que as sucessões m^1_{rn} *e* m^2_{rn} *têm ambas limite:*

$$m^1_{rn} \to \overline{m}^1_r$$
$$m^2_{rn} \to \overline{m}^2_r \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Está pois mostrado que o método de Cross usado em cadeia aberta conduz a momentos na vizinhança dos nós bem determinados. Este resultado generaliza-se imediatamente a todos os nós do pórtico, considerando novas cadeias abertas até que qualquer nó do pórtico tenha sido ao menos uma vez incluído em uma cadeia.

b) É de todo evidente ser

$$\left|\overline{m}^1_r - m^1_{r1}\right| = \left|\sum_{n=1}^{\infty} (m^1_{rn+1} - m^1_{rn})\right|$$

e, fazendo $\alpha = 1$, $b = 2$ e $t = r - 1$ em (5), o que é o mesmo que considerar apenas os ele-

mentos da cadeia escolhida, vê-se também que o segundo membro vale

$$\left| - \sum_{n=1}^{\infty} (\lambda^1_r M_{rn} + \frac{1}{2} \lambda^2_{r-1} M_{r-1\,n}) \right| \leqslant$$

$$\leqslant \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left| \lambda^1_r M_{rn} \right| + \frac{1}{2} \left| \lambda^2_{r-1} M_{r-1\,n} \right| \right) \leqslant$$

$$\leqslant \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left| M_{rn} \right| + \frac{1}{2} \left| M_{r-1\,n} \right| \right)$$

Pois bem introduza-se o símbolo δ_{ik}, assim definido,

$$\delta_{ik} \begin{cases} = 0 \text{ se } i \text{ e } k \text{ são de paridade diferente} \\ = 1 \text{ se } i \text{ e } k \text{ são da mesma paridade.} \end{cases}$$

Podia então pôr-se, simultâneamente

$$|M_{rn}| \leqslant \delta_{rn} M_n \text{ e } |M_{r\pm 1\,n}| \leqslant \delta_{r\pm 1\,n} M_n =$$
$$= (1 - \delta_{rn}) M_n$$

e escrever-se que

$$\left| \overline{m}^1_r - m^1_{rl} \right| \leqslant \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(1 + \delta_{rn} \right) M_n < \sum_{n=1}^{\infty} M_n \leqslant$$
$$\leqslant M_l \sum_{n=1}^{\infty} \theta^n = \frac{1}{1-\theta} M_l$$

e anàlogamente

$$\left| \overline{m}^2_r - m^2_{rl} \right| < \frac{1}{1-\theta} M_l$$

Está assim encontrado um limite superior do erro que se comete ao levar-se o processo de aproximações sucessivas de Cross até à ordem l (1).

E, num pórtico homogéneo e com barras de secções iguais, $\frac{1}{1-\theta}$ é máximo quando simultâneamente o forem $\xi = \frac{lr\,r+1}{lr+1\,r+2}$ e $\eta = \frac{lr-1\,r}{lr-2\,r-1}$. Pela determinação dos η e ξ nesses pórticos se pode pois regular a aplicação do método. Por outro lado, se porventura as duas barras concorrentes num nó e as outras duas que se lhe seguem para um e outro lado dum nó forem iguais, em pórtico da classe indicada, é $\frac{1}{1-\theta} = 2$ (2).

---

(1) Todd chegara a 6 M_l ; Veja ibd. pág. 48.

(2) Todd achara um limite de erro sup.: $\frac{12}{5} M_l$

DO MUNDO TÉCNICO

Carburetos metálicos duros

por AURÉLIO CERRI

C. D. 669.27 : 547,25,78

Porque a oportunidade e utilidade de artigo devido a Aurélio Cerri do Laboratório de Investigaciones de Florencio Varela, com o título de *Metais Duros,* são manifestos num país como o nosso, produtor e exportador da Wolframite e Sheelite, parece de todo o interesse apresentar um seu resumo que chame a atenção dos técnicos e industriais portugueses para uma solução Argentina deste problema da produção de metais ou ligas metálicas relacionados com o Tungsténio.

Deixaremos, de parte, no que se segue, as generalidades com que o autor ilustra e torna mais compreensivo o problema, para só resumirmos a solução industrial da coisa.

O desejo de provocar a consulta do artigo de A. Cerri e da bibliografia aí indicada é um dos fins a que este resumo pode aspirar.

Metalurgia dos Carburetos Metálicos Duros: Nos trabalhos, iniciados em 1942, no Jazigo do Comodoro Rivadivia, dos quais resultou vir-se a produzir, pela primeira vez na Argentina, quantidades apreciáveis de carburetos aglomerados; pretendeu-se dotar a indústria de sondagens de petróleo de material essencial, num período em que a guerra tinha suspendido toda a importação estrangeira de tais carburetos. Estes trabalhos foram repetidos e ampliados no Laboratório de Investigaciones de Florencio Varela, simultâneamente com o projecto das instalações industriais, para o fabrico de metais duros onde se estabeleceram as condições normais do fabrico. Eis os seus passos principais:

1 — Obtenção de WO_4Na_2 impuro, por fusão da Wolframite com carbonatos alcalinos e nitratos que facilitam a oxidação, ou por tratamento de Sheelite por carbonatos alcalinos em solução aquosa e a temperatura e pressão determinadas.

2 — Precipitação em meio ácido até se chegar ao WO_4H_2 impurificado por ácido silícico, sílico-tungstico, etc.

3 — Dissolução do WO_4H_2 até tungstato normal empregando soluções amoniacais.

4 — Hidrolise das soluções de tungstato normal; purificação prévia por decantação e filtragem.

5 — Destruição dos tungstatos complexos do tipo 5 5 (NH_4) O. $12WO_3$. $12OH_2$ empregando NO_3 H até se chegar ao WO_4 H_2 puro.

6 — Desidratação completa de WO_4H_2 com temperaturas variando de modo determinado até 500° C, para se obter WO_3. Pulverização a 100 mesh.

7 — Redução de WO_3 a WO_2 em presença do H saturado do vapor de água e a temperaturas entre 700° e 800° C.

Redução final das misturas de WO_2 e WO_3 em presença do H seco e a temperaturas que variam entre 750° C e 850°/900° C.

Obtém-se assim um pó cristalino de W metálico com dimensões entre 20 e 0.1 μ e que é constituido por cristais cúbicos e octoédricos.

8 — Cementação pelo C ate à mistura $W_2C + WC$.

A temperatura de trabalho é da ordem de 1600° C, e a operação realiza-se em atmosfera redutora ou neutra. O carbono empregado é geralmente negro de fumo.

9 — Mistura dos Carburetos de Tungsténio com Co metálico e compressão em formas especiais.

10 — Aglomeração térmica a certa temperatura da mistura Carburetos — Cobalto em atmosfera redutora (H).

A redução progressiva do WO_3 (7) deve ser conduzida com cuidados especiais, quando se pretendam obter partículas de carbureto com dimensões apropriadas a uma aglomeração cerâmica posterior normal. Segundo Gregg estas condições podem ser estabelecidas à custa do seguinte quadro.

Ø das partículas (μ)	Tipo de Forno	Temperaturas Máximas (°C)	Hidrogénio	Peso de WO_3 por cm^3 de tubo (gr)
0.5	Contínuo	800	Seco	0.05
2.0	»	830	»	0.5
4.0	»	900	»	1.0
8.0	Intermitente	1130	Sat. OH_2 a 75° C	1.5
10.0	»	1200	Sat. OH_2 a 85° C	2.0

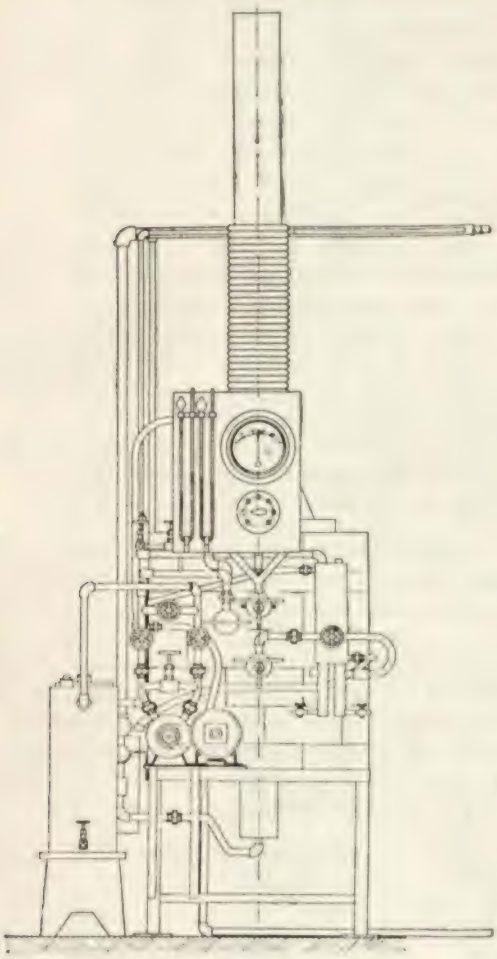
O forno contínuo usado pode ver-se na fig. 1.

O metal resultante da operação (7) apresenta-se sobre a forma de um pó cinzento, solto ou ligeiramente aglomerado, pesado e sem brilho metálico.

É completamente estável às temperaturas ordinárias.

A absorção superficial do C (cementação), (8), efectua-se misturando o W, obtido como foi indicado, com negro do fumo proveniente, no caso em questão, de gases do petróleo bruto; a dosagem é até 8 % de C em peso. A mistura é humedecida c/ OH_2 ou líquido orgânico (glicerina, parafinas, etc). Moldam-se depois cilindros com diâmetros próximos de 30 mm e de peso entre 250 gr e 350 gr e deixa-se secar. O forno de carburação ou cementação é um forno de resistência de grafite. A fig. 2 mostra a curva correspondente a uma carburação normal. Por ela se vê que a operação atinge o máximo em 45-50 min, à temperatura de regimen de 1500° C e com grão médio de 4-10 μ.

A atmosfera dêste forno deve ser neutra redutora e normalmente isso obtém-se usando hidrocarbonetos leves como o butano, o amoníaco e mesmo o hidrogénio. Uma vez esfriado, o produto proveniente desta



Fig; 1

cementação é pulverizado até um pó cinzento de aço, denso, constituido essencialmente por cristais octaédricos e cúbicos, cuja análise mostra uma absorção de C da da ordem dos 4.5/5.5 %. Depois, mediante levigação pela água, separa-se o carbono em excesso e eleminam-se mesmo certas impurezas; em seguida os carboretos de W, uma vez secos, estão aptos a serem misturados com o Co metálico.

Quanto à obtenção do Co a partir das Arsènopiritas cobaltíferas, existentes na Argentina, ela pode fazer-se por hidrometalurgia da qual o autor indica os passos fundamentais. Mas, na laboração actual, no jazigo Comodoro Rivadivia, emprega-se Co de proveniência estrangeira. Com efeito a influência económica deste Co, no processo em questão, é moderada visto apenas se exigirem uns 3/4 % desse elemento.

Pará preparar o Co em pó, parte-se de um sal orgânico de Co (formiato, oxalato, acetato, etc.) que se decompõe em atmosfera de H e esta redução produz Co metálico em pó fino, porque se trabalha entre 300.350° C.

A mistura íntima do Co com os carburetos de W realiza-se em moinhos de bolas durante tempos que

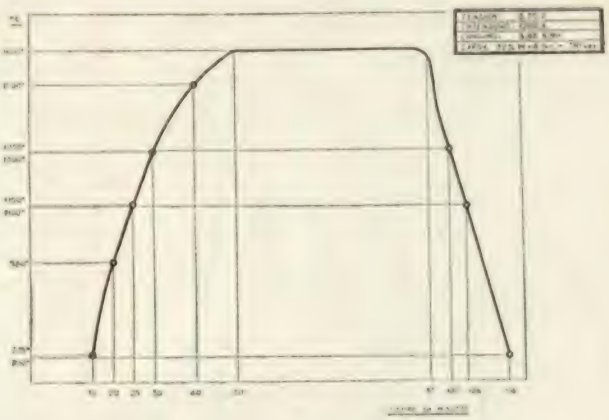


Fig. 2

dependem dos tipos de carburetos e de cobalto empregados (12/64 horas).

Segue-se a prensagem sob alta pressão (3500/4500 kg./m.²) que actua na mistura anterior seca ou ligeiramente humedecida por intermédio de fôrmas.

Finalmente a aglomeração térmica dos prensados efectua-se em fornos tubulares análogos aos de carburação mas com temperaturas graduáveis e bem definidas. É esta a operação mais importante e delicada de todo este processo metalúrgico e dela dependem, em alto grau, as propriedades finais do produto fabricado.

São condições essenciais para uma aglomeração normal:

1 — O estabelecimento rigoroso do ponto de fusão do eutético cobalto-carburetos para determinada percentagem de Co.

2 — A diminuição da influência descarburante da atmosfera hidrogenada do forno. Esta acção resulta da formação de hidrocarbonetos a expensas dos carburetos de W ou ainda da humidade que possa existir no interior da atmosfera redutora do forno.

3 — A redução da tensão de vapor do carbono (ou da produção de C nascente à custa da decomposição térmica de hidrocarbonetos gasosos) a qual afecta a formação do eutético.

4 — A fixação do tempo de acção específico e as temperaturas correspondentes inferior e superior.

O diagrama da Fig. 3 é a característica temperatura-tempo, para uma carga normal (570 gr.) do forno tubular.

Importância das aplicações industriais dos carburetos de W aglomerados

Tendo em conta que estes produtos podem substituir, com vantagem, a maioria dos chamados aços rápidos para ferramentas e máquinas ferramentas, que são importadas totalmente, e notando tambem o

aumento progressivo do «stock» de máquinas agrícolas e transportadoras, cujas superfícies activas devem ser protegidas, compreende-se a importância económica que alcançarão na Argentina, país produtor de minérios de Tungsténio. Uma fabricação nacional Argentina, áparte o seu consumo garantido na indústria do petróleo, poderá também fundar-se na substituição dos

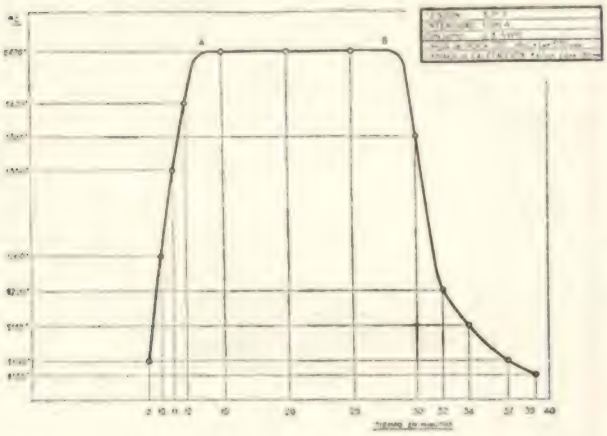


Fig. 3

aços rápidos, porque é mais fácil fabricar aglomerados carburados do que aços especiais. Por outro lado o custo, armotização e manutenções das instalações para uma metalurgia cerâmica (de aglomerados) são reduzidos e coadunam-se perfeitamente a produções modestas, o que é uma caracteristica das indústrias metalúrgicas argentinas.

Finalmente não deve por-se de lado a possibilidade de produzir muitas diversas ligas e produtos manufacturados empregando uma mesma instalação básica. Isto é, deve ser previsto o fabrico de ligas duras baseadas em carburetos, ligas magnéticas do tipo «alnico», estabilizadores metálicos em pó, para sínteses orgânicas, etc., etc.

Para se fazer uma ideia do número considerável de aplicações, destes recentes produtos da metalurgia, os carburetos metálicos duros, o autor cita uma lista que resumimos:

Máquinas agrícolas (relhas de arados, dentes de charruas, etc. etc.), escavações, canalizações, nivelamentos, instrumentos mecânicos, reparações de veículos, construção de máquinas, moinhos, etc.

Conclusão:

O emprego destes materiais vai-se alargando ràpidamente devido à sua extraordinária resistência à abrasão, à corrosão química, à sua dureza e à sua condutibilidade térmica, muito superior à dos aços rápidos.

A facilidade de soldadura dos carburetos metálicos duros abriu, por outro lado, um novo campo ainda não totalmente explorado, à indústria.

Pode pois dizer-se que de dia a dia se encontram novas aplicações, variadas e importantes, para os carburetos metálicos duros.

No resumo que fizemos quizemos, como foi dito, chamar a atenção, de modo rápido, para esta nova indústria quase desconhecida entre nós. Dele se pode concluir «mutatis mutandi», para o nosso País, aquilo que o autor refere para a Argentina, embora se ponha o problema de saber se o nosso consumo de aços especiais pagaria uma indústria de aglomerados de carburetos de Tungsténio que os viessem quase totalmente substituir. Fica assim lançada uma «Ideia à espera que haja uma Acção que a acompanhe».

(Do *Boletin de Investigaciones Petroleras*)

J. R.

PUBLICAÇÕES RECEBIDAS

SUÍÇA

REVUE SULZER — N.os 1 e 2 — 1946.

SUÍÇA TÉCNICA — Abril de 1946.

PORTUGAL

ACTIVIDADE ECONÓMICA DE ANGOLA—N.º 14 — 1946.

ANAIS DO CLUB MILITAR NAVAL — Março a Junho de 1946.

ARQUITECTURA PORTUGUESA E CERAMICA E EDIFICAÇÃO — N.os 130 a 136 de 1946.

BOLETIM GERAL DAS COLÓNIAS — Abril a Junho de 1946.

BOLETIM DA JUNTA NACIONAL DE CORTIÇA — Junho a Setembro de 1946.

BOLETIM CULTURAL DA GUINÉ — N.º 1946.

BOLETIM DA COMISSÃO DE FISCALIZAÇÃO DAS ÁGUAS DE LISBOA — N.º 27 — 1946.

BOLETIM DA SOCIEDADE DE GEOGRAFIA DE LISBOA — Maio e Junho de 1946.

BROTERIA — Maio a Setembro de 1946.

CLÍNICA, HIGIENE E HIDROLOGIA — Abril a Agosto de 1946.

ESTUDOS — N.os 6 e 7 — 1946.

GAZETA DE MATEMÁTICA — Agosto de 1946.

GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO—N.os 1405 a 1412

GIL VICENTE — Maio-Agosto de 1946.

INDÚSTRIA PORTUGUESA — Abril a Junho de 1946.

PORTUCALE — Abril 1946.

MEDICINA VETERINÁRIA — Março-Abril de 1946.

REVISTA DE ARTILHARIA — Junho a Outubro de 1946.

REVISTA AGRONÓMICA — N.º 3 — 1946.

REVISTA DA ORDEM DOS ENGENHEIROS — Março a Agosto de 1946.

REVISTA DO SINDICATO DOS AGENTES TÉCNICOS DE ENGENHARIA — N.os 2, 3 e 4 de 1946.

INDÚSTRIA E TÉCNICA — N.os 4 a 8 de 1946.

RUMO — Junho e Julho de 1946.

SEARA NOVA — N.os 990 a 999.

RECTIFICADORA DE CAMBOTAS SEM PONTOS

SEEST

Despesa mínima com a manutenção:

Força motriz total de 1 cavalo.
Põe-se a trabalhar sem esforço.
Todos os moentes das cambotas rigorosamente alinhados.
Moentes absolutamente redondos e cilíndricos.

Economia de tempo:

Não há pontos a centrar.
Montagem da obra rápida.
Rectifica todas as cambotas desde as do mais pequeno até às do maior DIESEL, dentro das seguintes dimensões:

Comprimento máximo da cambota.....		1500 mm
Diâmetro do moente	30 mm a	100 mm
Curso máximo da cambota.....		180 mm

REPRESENTANTE

ECO TRADING, LIMITED

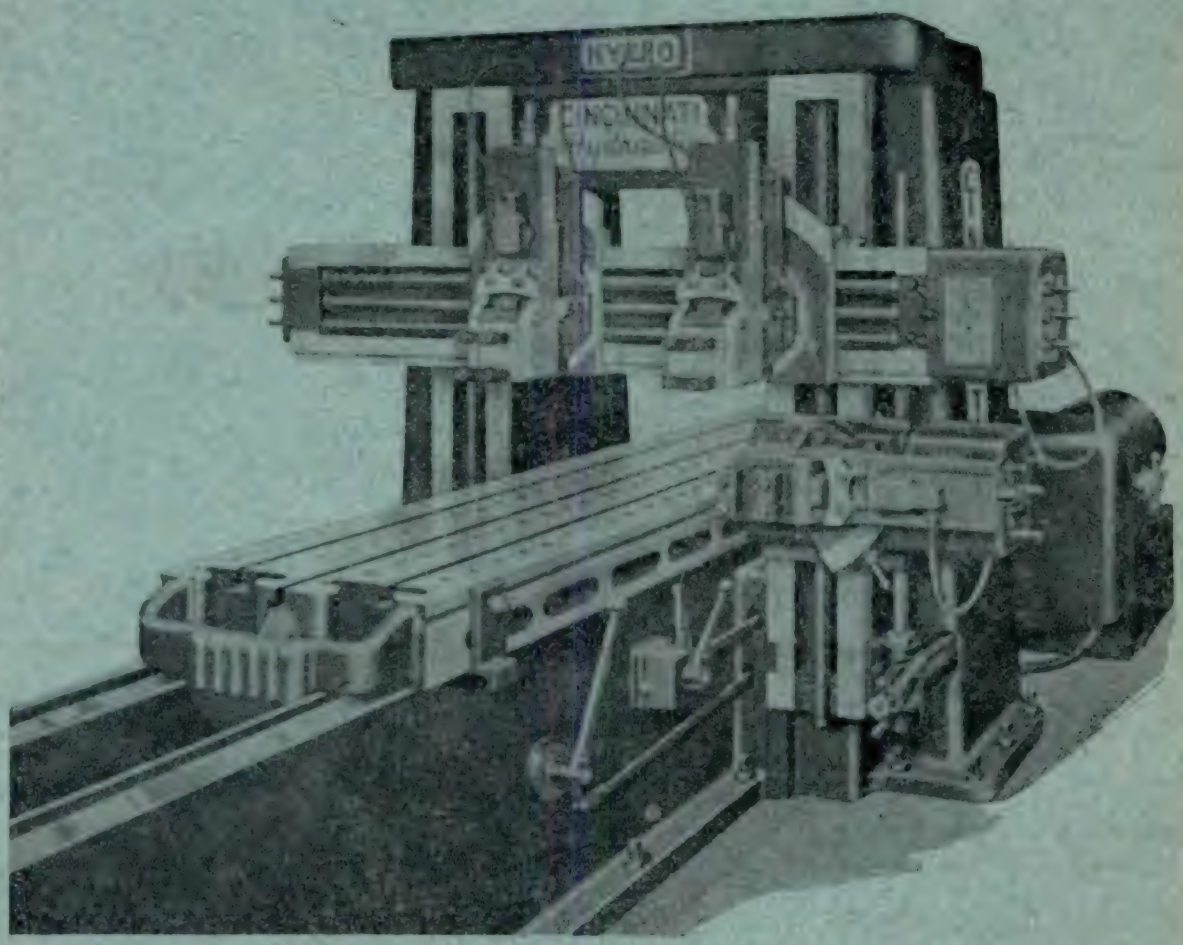
LISBOA—RUA DO CRUCIFIXO, 50, 3.º

Telefones: 2 5808 e 2 0155 **Telegramas: ECOTRADING**

THE CINCINNATI PLANER CO.

CINCINNATI, OHIO, U. S. A.

Fabricantes de: Plainas hidráulicas
Plainas mecânicas em todos os tamanhos ate 12 metros de curso
Tornos verticais até ao diâmetro 16'0"



Apresenta a nova PLAINA HYPRO HIDRÁULICA
Depois de 10 anos do estudo, o tipo de plaina livre para exportação.

Características:

Comprimento de mesa	6'0" mínimo — 12'0" máximo		
Comprimento de barramento	15'0" mínimo — 27'0" máximo		
Velocidades de cortes.	0'0" a 95'0"		
Velocidades da inversão	10'0" a 200'0"		
Tipos	24"	30"	36"
Espaço para trabalhar entre as colunas	27 1/2"	31 1/2"	37 1/2"
Espaço máximo abaixo da guia	25"	31"	37"
Largura da mesa	23"	26"	32"
Avanço horizontal abaixo da guia	9"	9"	9"
Avanço horizontal entre as colunas	7 3/4"	7 3/4"	7 3/4"
Avanço vertical do porta-ferramenta no lado	19 1/4"	25 1/4"	31 1/4"
Altura do solo à parte superior da mesa	32"	32"	32"
Altura total	84"	90"	96"
Largura total	8'9"	9'0"	9'6"

REPRESENTANTE

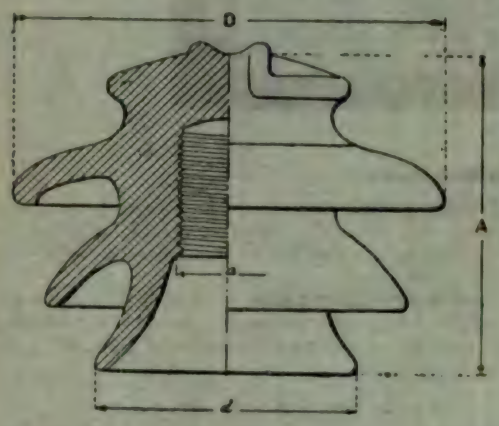
ECO TRADING, LIMITED
RUA DO CRUCIFIXO, 50, 3.°

TELEFONES: 2 5808 E 2 0155 TELEGRAMAS: ECOTRADING

FABRICA DE PORCELANA DA VISTA ALEGRE, L.DA

FUNDADA EM 1824

LISBOA — Sede: Largo da Biblioteca, 17 — Fábrica em Ilhavo — AVEIRO



Além de porcelanas domésticas e artísticas fabrica em larga escala

PORCELANAS PARA USOS INDUSTRIAIS

E **PORCELANAS ELÉCTRICAS DE BAIXA E ALTA TENSÃO**

DEPÓSITOS:

LISBOA — Largo do Chiado, 18 — Rua Cândido dos Reis — PORTO

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

CONTRA A HUMIDADE

FABRICA EM SACAVÉM

TELEFONE 20879 TELEG. EPALDA—LISBOA

PICKETT & ECKEL

Réguas de Cálculo «DECI. POINT»

A Régua de Cálculo «DECI. POINT» oferece-vos:

1 — **Colocação mecânica da vírgula.**

2 — **Nova disposição das escalas.** — As escalas D e C, inversos, senos, tangentes, senos e tangentes, logaritmos, raíses quadradas e cúbicas, encontram-se na mesma face da régua, permitindo leituras simultâneas. Na outra face encontram-se as escalas destinadas à colocação das vírgulas no resultado.

3 — **Grande precisão.** — Escalas de $\sqrt{}$ e sen. com o dobro do comprimento. Escalas de $\sqrt{}$ e Tg com o triplo do comprimento.

4 — **Escalas indeformáveis.** — A construção em *Dow* metal coberto com plástico, garante a não deformação das escalas com o tempo, temperatura e humidade.

5 — **Fácil ajuste da reglette.** — Devido à construção metálica com tolerâncias de aparelho de precisão, a reglette e o cursor param sem tentativas no ponto desejado.

Dimensões: 305 × 51 × 4,5 mm

Estojo em «Geon»

PREÇO 500$00

Brevemente à venda

Representante

LOPES MONTEIRO **RUA DO VALE DE SANTO ANTÓNIO, 247 — LISBOA**

LIVROS TÉCNICOS

GRANDE SORTIDO
PREÇOS NORMAIS

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA
Rua Eugénio dos Santos, 75
Telef. 24314-24315 LISBOA

MÁRMORES

aos melhores preços

Em todas as aplicações

IIII

A MAIOR PRODUÇÃO DO PAÍS

IIII

Pedidos à

Sociedade dos Mármores de Portugal, L.da

Rua de S. Domingos de Benfica, 63

LISBOA

Standard Electrica

ASSOCIADA

DA

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORP

- EQUIPAMENTOS PARA TODOS OS GÉNEROS DE COMUNICAÇÕES ELÉCTRICAS por rádio e por circuitos metálicos.
- EQUIPAMENTOS DE TODAS AS POTÊNCIAS PARA RADIODIFUSAO E TELEVISAO.
- GRANDES E PEQUENAS CENTRAIS TELEFONICAS, manuais e automáticas.
- TODO O GÉNERO DE APARELHAGEM MANUAL E AUTOMÁTICA para instalações telefónicas e telegráficas.
- FORNOS ELÉCTRICOS desde pequenas potências, com aquecimento por correntes de radiofreqüência.
- SISTEMAS PATENTEADOS, DE ANTENAS de alta eficiência.
- CABOS DE TODOS OS TIPOS para comunicações em tôdas as freqüências e para transporte de energia.

Telefone 2 3111/2/3 Rua Augusta, 27 LISBOA

OFICINAS E LABORATÓRIOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

Companhia União Fabril

Sede: Rua do Comercio, 49

LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:
Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpetes e Mangueiras.

Oficinas de:
Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

Fundição de:
AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

Construção Naval

(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

TABELAS TÉCNICAS PARA ENGENHARIA CIVIL

Compiladas por Nuno Abrantes e A. Celestino da Costa
Sob a direcção do Prof. VICENTE FERREIRA

2.ª EDIÇÃO

INSERE: Tabelas matemáticas; Tabelas com características de diversos materiais; Perfis laminados, simples e compostos; Tabelas para o cálculo de peças compridas comprimidas (Fórmulas de Rankine, Euler e Tetmaxer, Vierendel), Tabelas de betão armado; : : : : Esgotos, etc. : : : :

À venda na redacão da TÉCNICA

Preço 65$00

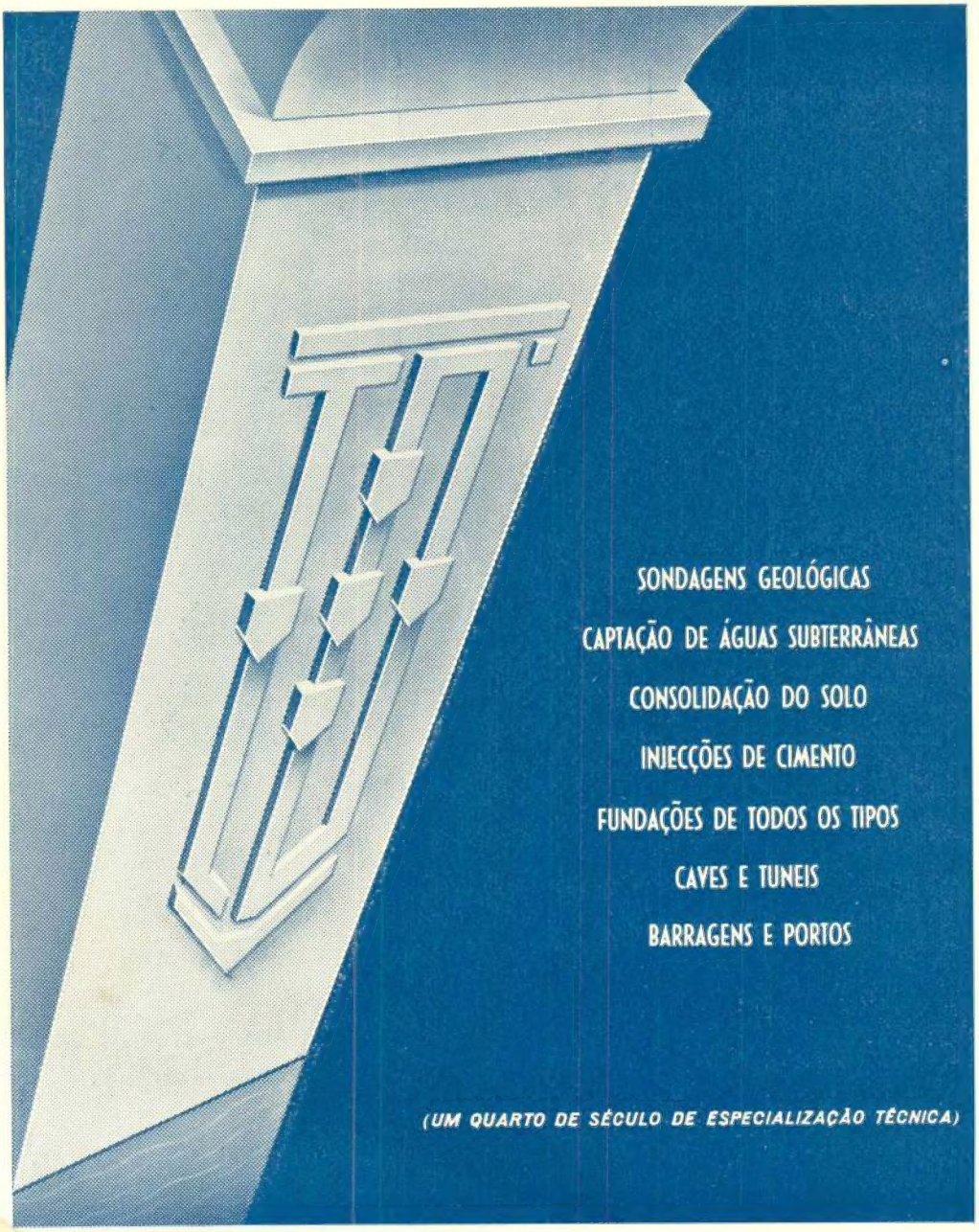
Para assinantes 10 % de desconto

Emprêsa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

RUA DA BETESGA, 57, 3.º
TELEF. 2 3962

LISBOA



SOCIEDADE ANÓNIMA

BROWN, BOVERI & CIE.

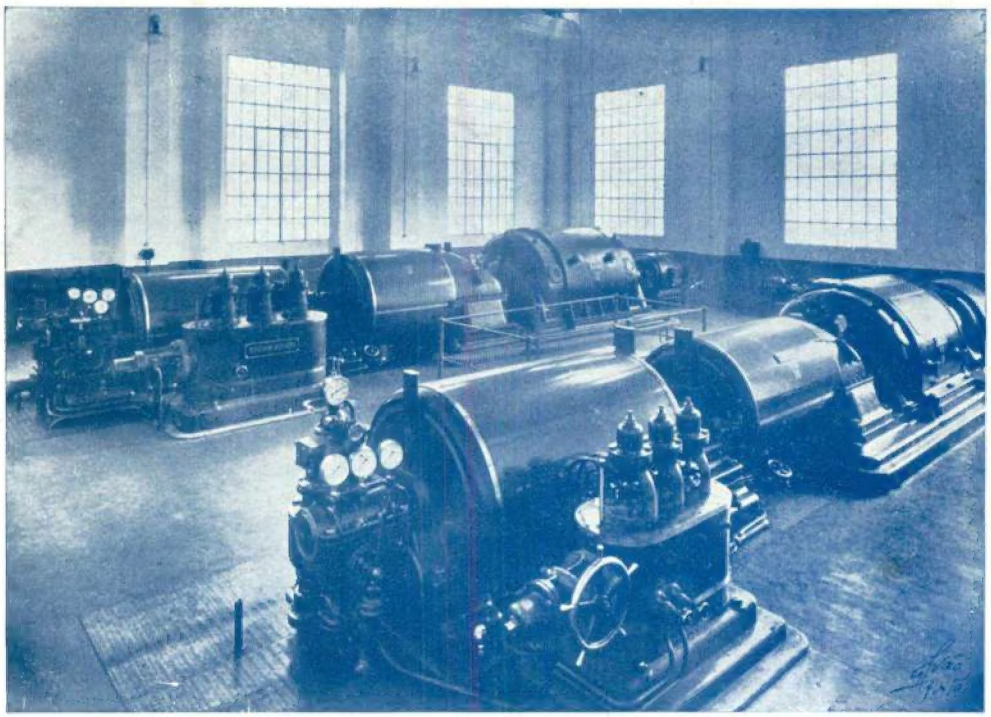
BADEN (SUISSA)

Representante geral para Portugal e Colónias:

EDOUARD DALPHIN

Escritório Técnico: Praça de D. João I, 25, 3.º Dir. // PORTO // Tel. 2411

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diesel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, Material de alta frequência, Telegrafia, Telefonia, Telecomando, etc.



S. A. União Eléctrica Portuguesa — Setúbal
Turbo-grupos de 6.400 kW